



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

Titulació:

Màster Universitari en Enginyeria de Sistemes Automàtics i Electrònica Industrial

Alumne:

Gerard Casas Treig

Enunciat TFM:

Estudi, Disseny i Programació dels Algorismes de Control d'un Sistema Integrat de Producció de 3 Estacions i dels Aplicatius de Supervisió Mitjançant Dispositius Mòbils.

Directora del TFM:

Rita Maria Planas Dangla

Convocatòria de lliurament del TFM:

Quadrimestre de Tardor 2019-2020

Estudi, Disseny i Programació dels Algorismes de Control d'un Sistema Integrat de Producció de 3 Estacions i dels Aplicatius de Supervisió Mitjançant Dispositius Mòbils.

SUMARI DE CONTINGUTS

1	INTRODUCCIÓ	9
1.1	RESUM	9
1.2	ABSTRACT	10
1.3	DECLARACIÓ D'HONOR.....	11
1.4	OBJECTE DEL TREBALL.....	12
1.5	ABAST DEL TREBALL	12
1.6	REQUERIMENTS DEL TREBALL.....	12
1.7	UTILITAT DEL TREBALL	13
2	DESENVOLUPAMENT.....	14
2.1	ANTECEDENTS I REVISIÓ DE L'ESTAT DE L'ART	14
2.2	PLANTEJAMENT I DECISIÓ SOBRE SOLUCIONS ALTERNATIVES	14
2.2.1	ARQUITECTURA DEL SISTEMA	14
2.2.2	PLATAFORMA DE DESENVOLUPAMENT DE L'SCADA PER DISPOSITIUS ANDROID	16
2.3	DESENVOLUPAMENT DE LES SOLUCIONS ESCOLLIDES	16
2.3.1	BLOC DE CONTROL DE LES ESTACIONS.....	17
2.3.1.1	ESTACIÓ I	19
2.3.1.2	ESTACIÓ II	25
2.3.1.3	ESTACIÓ III	30
2.3.2	BLOC DE COMUNICACIONS	38
2.3.3	BLOC DE SUPERVISIÓ	48

3	RESUM DE RESULTATS.....	55
3.1	RESUM DE PRESSUPOST	55
3.2	ANÀLISIS I VALORACIÓ DE LES IMPLICACIONS AMBIENTALS.....	55
3.3	PROVES I RESULTATS.....	55
3.4	CONCLUSIONS I RECOMANACIONS DE CONTINUACIÓ DEL TREBALL.....	57
3.4.1	CONCLUSIONS	57
3.4.2	RECOMANACIONS DE CONTINUACIÓ DEL TREBALL	58
3.5	PLANIFICACIÓ I PROGRAMACIÓ DEL TREBALL FUTUR PROPOSAT	58
3.5.1	PLANIFICACIÓ	58
3.5.2	PROGRAMACIÓ DEL TREBALL FUTUR PROPOSAT	60
3.6	RELACIÓ DE REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES I NORMATIVA APLICADA	61
3.6.1	BIBLIOGRAFIA	61
3.6.2	NORMATIVA APLICADA	62
	ANNEX A – CODIS DE PROGRAMACIÓ DELS PLCS	63
A.1	CODI DE PROGRAMACIÓ DEL PLC DE L'ESTACIÓ I	63
A.2	CODI DE PROGRAMACIÓ DEL PLC DE L'ESTACIÓ II	76
A.3	CODI DE PROGRAMACIÓ DEL PLC DE L'ESTACIÓ III	87

SUMARI DE TAULES

Taula 2.1 Components de l'estació I amb l'abreviació i la direcció de connexió.....	21
Taula 2.2 Condicions inicials del components de l'estació I.....	22
Taula 2.3 Codificació dels estats en que poden estar les estacions de treball.	25
Taula 2.4 Components de l'estació II amb l'abreviació i la direcció de connexió.....	26
Taula 2.5 Condicions inicials del components de l'estació II.....	27
Taula 2.6 Components de l'estació III amb l'abreviació i la direcció de connexió.....	31
Taula 2.7 Condicions inicials del components de l'estació III.....	32
Taula 2.8 Llista de tags del servidor OPC DA de l'estació I.	40
Taula 2.9 Llista de tags del servidor OPC DA de l'estació II.	40
Taula 2.10 Llista de tags del servidor OPC DA de l'estació III.	41
Taula 2.11 Llista de tags del servidor central OPC UA.	41
Taula 2.12 Direccions IP locals de cada PLC.....	42
Taula 3.1 Pressupost de desenvolupament del treball.....	55
Taula 3.2 Temps mitjans de processament de peces de les estacions de treball.	57
Taula 3.3 Planificació de les tasques per l'elaboració del treball.	59
Taula 3.4 Planificació de les tasques per l'elaboració del treball futur proposat.....	60

SUMARI DE FIGURES

Figura 1.1 Esquema general del sistema.....	9
Figura 1.2 General scheme of the system.	10
Figura 2.1 Esquema de l'arquitectura del sistema dissenyat.....	15
Figura 2.2 Esquema dels components que incorpora cada PLC.....	17
Figura 2.3 Botonera de control d'una de les estacions de treball.	18
Figura 2.4 Esquema dels elements de l'estació I.....	20
Figura 2.5 GRAFCET de l'algorisme de control de l'estació I.....	24
Figura 2.6 Esquema dels elements de l'estació II.....	26
Figura 2.7 GRAFCET de l'algorisme de control de l'estació II.....	30
Figura 2.8 Esquema dels elements de l'estació III.....	31
Figura 2.9 GRAFCET de l'algorisme de control de l'estació III.....	37
Figura 2.10 Estructura del sistema de comunicacions amb la ubicació física dels aplicatius. ..	39
Figura 2.11 Resum de la configuració del servidor OPC DA associat a l'estació I.....	43
Figura 2.12 Resum de la configuració del servidor OPC DA associat a l'estació II.....	43
Figura 2.13 Resum de la configuració del servidor OPC DA associat a l'estació III.....	43
Figura 2.14 Implementació del servidor OPC DA associat a l'estació I.....	44
Figura 2.15 Implementació del servidor OPC DA associat a l'estació II.....	44
Figura 2.16 Implementació del servidor OPC DA associat a l'estació III.....	44
Figura 2.17 Resum de la configuració del client OPC UA associat a l'estació I.....	45
Figura 2.18 Resum de la configuració del client OPC UA associat a l'estació II.....	45
Figura 2.19 Resum de la configuració del client OPC UA associat a l'estació III.....	45
Figura 2.20 Implementació dels clients OPC UA.....	46

Figura 2.21	Configuració del link d'un tag entre el servidor OPC UA i un servidor OPC DA. ...	47
Figura 2.22	Configuració de la direcció del servidor OPC UA dels clients OPC UA.	48
Figura 2.23	Configuració de la direcció del servidor OPC UA dels clients OPC UA.	48
Figura 2.24	Configuració del client OPC UA de l'SCADA.	49
Figura 2.25	Implementació dels tags de l'SCADA.	49
Figura 2.26	Disseny de l'HMI del sistema SCADA.	50
Figura 2.27	Configuració del comportament d'un dels components de l'SCADA.	51
Figura 2.28	Codi de TeslaSCAD2 pel càlcul de l'OEE i dels factors que el conformen.	53
Figura 2.29	Configuració de l'aplicació TeslaSCADA2 Runtime.	53
Figura 2.30	SCADA funcionant en el dispositiu mòbil.	54
Figura 3.1	Diagrama de Gantt de la planificació de les tasques d'elaboració del treball.	59
Figura 3.2	Diagrama de Gantt de la planificació del treball futur proposat.	60

Estudi, Disseny i Programació dels Algorismes de Control d'un Sistema Integrat de Producció de 3 Estacions i dels Aplicatius de Supervisió Mitjançant Dispositius Mòbils.

1 INTRODUCCIÓ

1.1 RESUM

El treball consisteix en estudiar, dissenyar i programar els algorismes de control d'un sistema integrat de producció format per 3 estacions d'una línia de producció. A més, el treball inclou el disseny i la programació dels aplicatius de supervisió del sistema per a dispositius mòbils.

El mètode seguit per fer-ho ha estat dissenyar globalment el sistema per a que fos capaç de ser controlat remotament mitjançant un telèfon mòbil, desenvolupar individualment cadascuna de les parts del sistema i integrar-les per a que funcionin conjuntament. L'esquema general del sistema desenvolupat es pot veure en la Figura 1.1.

El resultat d'aquest treball ha estat satisfactori, ja que s'ha aconseguit desenvolupar el sistema desitjat utilitzant tecnologies innovadores en el sector de l'automatització industrial, podent així comprovar el seu potencial i utilitat. Per lo que s'han complert els objectius proposats al inici del treball.

Una important conclusió a la qual s'ha arribat és la utilitat que presenta la tecnologia OPC UA pel desenvolupament de sistemes de control i supervisió controlats a distància, ja que al ser un protocol obert permet la interconnexió d'aparells de diferent tecnologia i així transmetre les dades entre aquests.

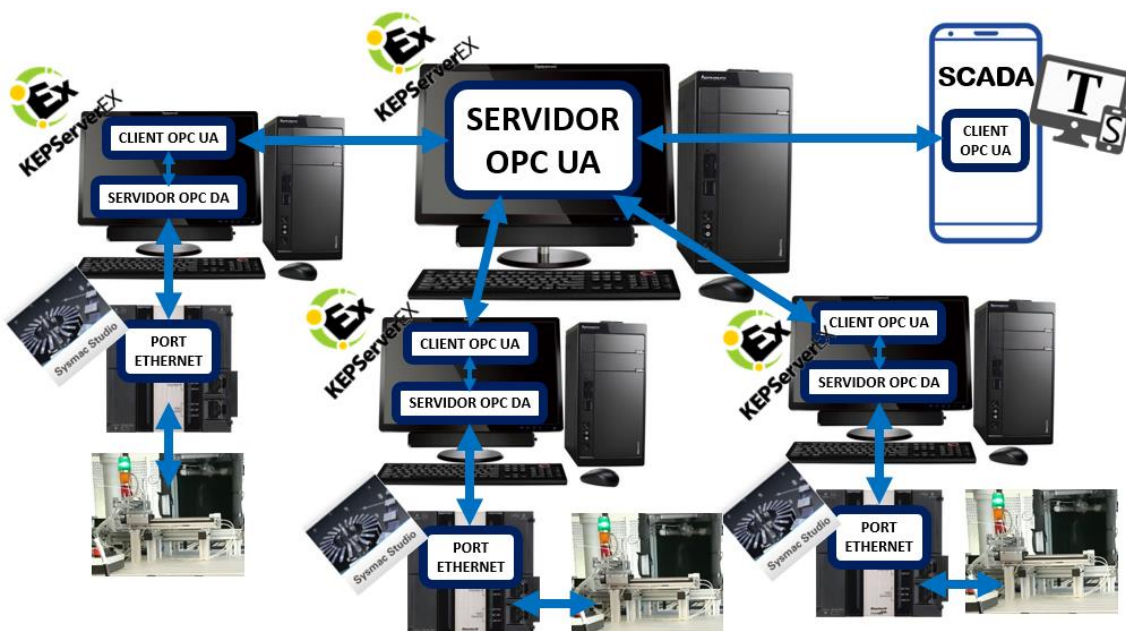


Figura 1.1 Esquema general del sistema.

1.2 ABSTRACT

This project consist of the study, design and program of the control algorithms of an integrated production system consisting of 3 stations in one production line. In addition, the project includes the design and programming of the system monitoring applications for mobile devices.

The method followed was to design the system globally so that it could be remotely controlled by a mobile phone, individually develop each part of the system and integrate them together. The general scheme of the developed system can be seen in Figura 1.2.

The result of this project has been satisfactory, since the desired system has been developed using innovative technologies in the field of industrial automation, thus being able to verify its potential and usefulness. So the objectives proposed at the beginning of the work have been fulfilled.

An important conclusion reached is the usefulness of OPC UA technology for the development of remote controlled monitoring and control systems, since being an open protocol allows the interconnection of different technology devices and thus transmitting the data between them.

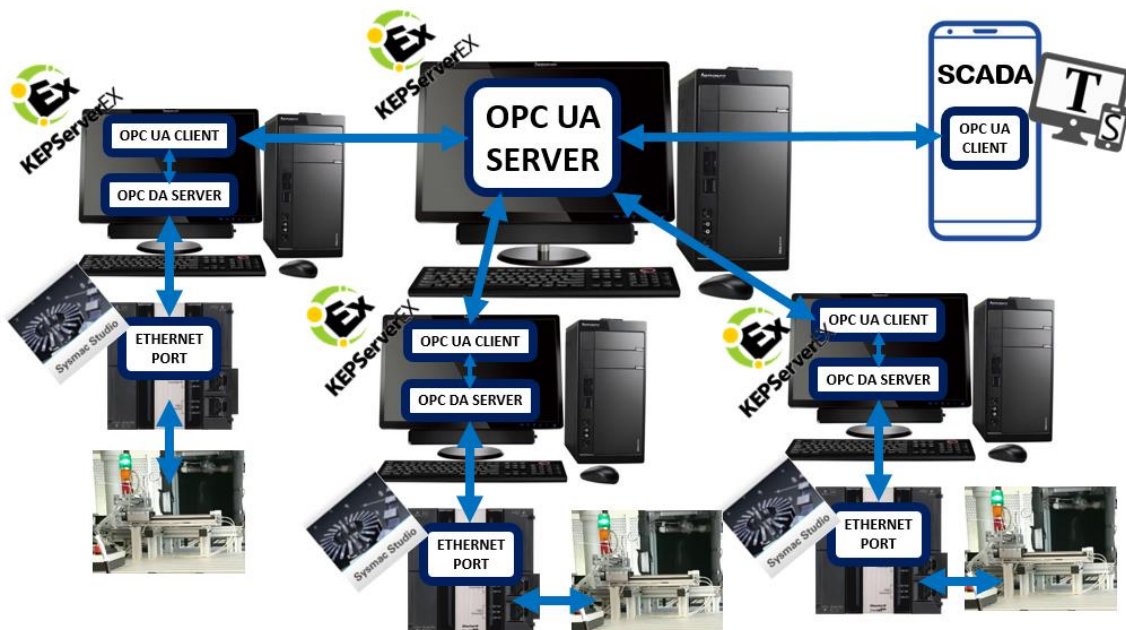


Figura 1.2 General scheme of the system.

1.4 OBJECTE DEL TREBALL

Els principals objectius d'aquest treball són:

- Dissenyar un sistema capaç de transmetre la informació entre els diferents dispositius (PLC (*Programmable Logic Controller*), Servidor OPC (*Open Protocol Communication*) i telèfon mòbil) que formen el sistema.
- Realitzar els algorismes de control dels PLCs capaços de controlar la línia de producció formada per les 3 estacions de treball.
- Desenvolupar un sistema de supervisió i adquisició de dades SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) per a dispositius mòbils, que permeti a l'usuari controlar la línia de producció i obtenir dades sobre el rendiment del sistema.
- Utilitzar alguna tecnologia innovadora dins de l'àmbit de l'automatització industrial, com l'OPC UA (*Open Protocol Communication - Unified Architecture*), per tal d'aprofundir en el seu coneixement.

1.5 ABAST DEL TREBALL

L'abast d'aquest treball va des de l'estudi de les tecnologies implicades en la realització d'aquest treball, passant pel disseny d'un sistema capaç de controlar una línia de producció formada per 3 estacions de treball controlades per PLCs, on es pugui supervisar i controlar la producció mitjançant un telèfon mòbil Android, fins a la seva implementació i programació per aconseguir realitzar la funcionalitat desitjada.

En concret, en el desenvolupament del treball s'utilitzaran tecnologies i eines desenvolupades per empreses especialitzades del sector de l'automatització i/o comunicacions industrials. Cal dir que aquest treball no inclou el desenvolupament de les eines informàtiques que s'utilitzaran, si no que es limitarà a utilitzar les eines comercials ja existents en el mercat per desenvolupar el sistema desitjat. A més, aquest treball no inclou la utilització d'un servidor web per ubicar el servidor central del sistema, si no que s'utilitzarà un ordinador per ubicar el servidor i s'accedirà a ell localment.

1.6 REQUERIMENTS DEL TREBALL

El sistema requerit ha de permetre controlar la línia de producció a través dels PLCs ubicats en cadascuna de les 3 estacions de treball, per lo que es necessiten estudiar, dissenyar i programar cadascun dels algorismes de control dels PLCs.

A més, caldrà que aquests PLCs es puguin comunicar amb l'exterior per tal d'enviar i rebre informació, per lo que també es necessitarà dissenyar, crear i configurar un servidor de comunicacions OPC que a més sigui capaç de comunicar-se amb els PLCs mitjançant Ethernet.

Adicionalment, aquest servidor haurà de ser capaç de comunicar aquesta informació a través d'una xarxa d'internet local a un dispositiu mòbil, per lo que el servidor OPC haurà de ser de tipus OPC UA, permetent així la interpretació de les dades entre els diferents sistemes operatius (Windows i Android).

També caldrà dissenyar i desenvolupar un sistema SCADA per dispositius mòbils capaç de rebre i enviar informació mitjançant OPC UA.

Finalment, s'hauran d'adaptar els algorismes de control dels PLCs per tal de que puguin transmetre la informació requerida i es puguin controlar externament mitjançant el dispositiu mòbil Android. Aquest fet també implica l'adaptació dels *tags* (etiquetes o variables d'interès) que haurà d'emmagatzemar i monitoritzar el servidor OPC.

1.7 UTILITAT DEL TREBALL

Amb aquest treball es pretén aprofundir en el coneixement i utilització de noves tecnologies en el sector de l'automatització industrial combinant-les amb sistemes amplament utilitzats, com en aquest cas un sistema SCADA que controla 3 estacions d'una línia de producció; on en comptes d'utilitzar un ordinador local com l'HMI (*Human-Machine Interface*), s'utilitza un telèfon mòbil per visualitzar les dades i controlar el procés remotament.

En concret, s'utilitza la tecnologia OPC UA per a interconnectar els diferents elements del sistema, ja que presenta molts avantatges respecte a las anteriors versions d'OPC (OPC DA, OPC AE, etc) i encara no hi ha una gran quantitat de projectes desenvolupats amb aquesta innovadora tecnologia. Per lo que pot ser de gran utilitat desenvolupar un sistema de supervisió i control de la producció utilitzant aquesta tecnologia.

2 DESENVOLUPAMENT

2.1 ANTECEDENTS I REVISIÓ DE L'ESTAT DE L'ART

Un estudi relacionat amb aquest treball, el "*Mobile Human Machine Interface based in OPC UA for the control of industrial processes*"(1), estudia com es poden integrar i utilitzar dispositius mòbils per monitoritzar i controlar processos d'automatització industrial. En concret, desenvolupa un exemple on utilitza OPC UA per realitzar les comunicacions entre dispositius de control i una tablet Android. Aquest estudi està més centrat en el disseny de l'arquitectura de comunicacions, on es dissenyen i avaluen 3 alternatives, que en el disseny i desenvolupament d'un projecte de caire pràctic.

Un altre estudi relacionat amb aquest treball, el "*SCADA Systems Architecture Based on OPC and Web Servers and Integration of Applications for Industrial Process Control*"(2), està centrat en estudiar diferents arquitectures pel sistema de control de processos industrials a través d'internet. En aquest estudi també s'utilitza OPC UA pel servidor que comunica amb l'SCADA, però no utilitza un dispositiu mòbil per realitzar l'HMI, sinó un PC amb LabView.

2.2 PLANTEJAMENT I DECISIÓ SOBRE SOLUCIONS ALTERNATIVES

2.2.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Per elegir el tipus d'arquitectura del sistema de control de producció, es van considerar diverses alternatives.

Primerament, es va considerar l'opció de que els PLCs es connectessin als seus ordinadors associats, aquests enviessin les dades a una base de dades SQL ubicada en un servidor online i mitjançant una pàgina web PHP, mostrar la informació del sistema, que els PLCs han guardat en la base de dades online, en un telèfon mòbil Android utilitzant el seu navegador web. Aquesta opció es va descartar ja que no permetia un control en temps real de les estacions, ja que la comunicació es realitzava mitjançant la base de dades SQL. A més, al utilitzar el navegador web del telèfon mòbil, en comptes d'una aplicació especialitzada, seria més complicat el desenvolupament d'un HMI plenament compatible amb el telèfon mòbil.

Adicionalment, també es va considerar l'opció de que els PLCs es connectessin directament amb un servidor web OPC UA, per enviar i rebre la informació rellevant, sense passar pels ordinadors associats a aquests. Aquesta opció, tot i ser bastant bona, no era possible degut a que la versió dels PLCs utilitzats en les estacions de treball no era compatible amb aquesta alternativa, ja que no permetia la configuració de connexió dels PLCs amb un servidor OPC UA directament.

Finalment, l'opció escollida consisteix en que els PLCs estiguin connectats amb els seus corresponents ordinadors. Cadascun d'aquests ordinadors utilitzarà un servidor OPC DA, que rebrà i enviarà les dades del PLC, connectat mitjançant Ethernet. Addicionalment, cada ordinador disposarà d'un altre canal de comunicacions, un client OPC UA, que li permetrà enviar i rebre dades d'un servidor OPC UA. Per poder relacionar les dades del client OPC UA amb les del servidor intern d'OPC DA, s'actualitzaran periòdicament les dades dels dos canals mitjançant una sèrie de links, que interrelacionaran els *tags* dels dos canals. A més, s'utilitzarà un dels ordinadors anteriors per allotjar el servidor OPC UA, on es guardaran tots els *tags* dels 3 PLCs. Finalment, l'SCADA del dispositiu mòbil Android utilitzarà un client OPC UA per connectar-se al servidor a través de la xarxa local d'internet i així poder rebre i enviar informació a cadascuna de les estacions de treball del sistema de producció. Un esquema de l'arquitectura del sistema escollida es pot veure en la Figura 2.1.

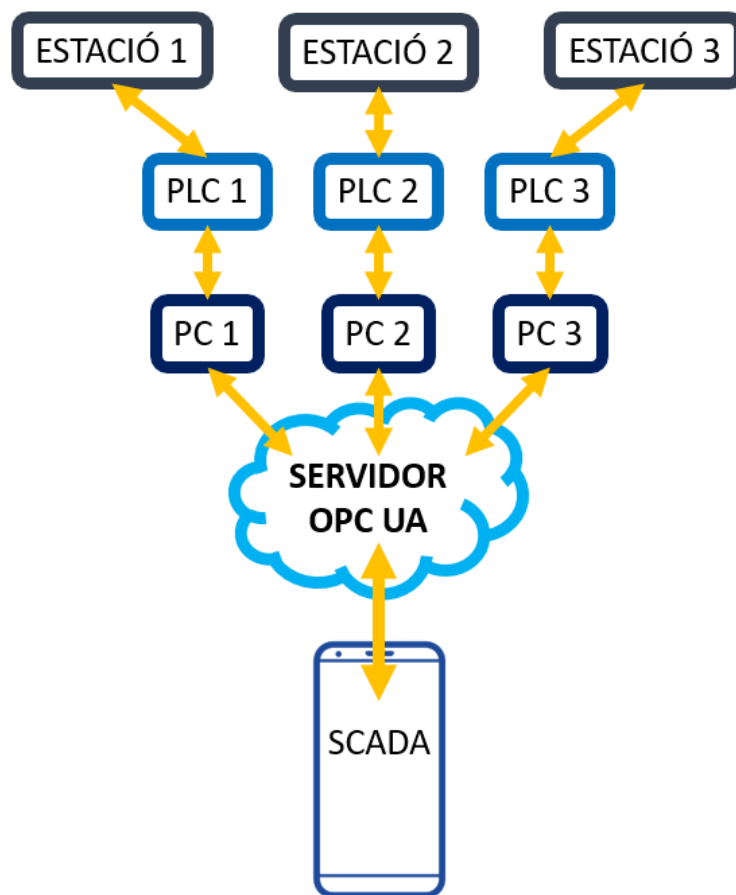


Figura 2.1 Esquema de l'arquitectura del sistema dissenyat.

2.2.2 PLATAFORMA DE DESENVOLUPAMENT DE L'SCADA PER DISPOSITIUS ANDROID

Per escollir quina plataforma s'utilitzaria per realitzar l'SCADA per dispositius mòbils Android, es van considerar múltiples alternatives compatibles amb la tecnologia OPC UA i que permetien desenvolupar una interfície per telèfons Android.

Una de les alternatives considerada va ser utilitzar la solució oficial de la OPC Foundation, la OPC UA NET(3). Aquesta consistia en una llibreria estàndard per C# que permetia executar operacions bàsiques amb servidors OPC UA, com són l'accés al servidor o la lectura i escriptura de *tags* del servidor. Aquesta solució va ser descartada per la nombrosa quantitat d'errors que presentava la llibreria i els exemples inclosos, ja que no funcionaven ni les operacions més bàsiques en els propis exemples proporcionats pels desenvolupadors de la llibreria.

Una altra alternativa estudiada va ser utilitzar una aplicació Android que permetés dissenyar i editar visualment un sistema SCADA des del propi telèfon mòbil. Entre altres, es va considerar l'aplicació Android Suppanel(4), ja que era compatible amb la tecnologia OPC UA. El principal benefici d'aquesta solució era que simplificava notablement la creació del panell HMI i la connexió amb el servidor OPC UA. Però, aquesta solució va ser descartada perquè no permetia la utilització de codis en l'SCADA, necessaris per realitzar el càlcul de KPIs (*Key Performance Indicator*) com l'OEE (*Overall Equipment Effectiveness*).

Finalment, l'opció triada consisteix en utilitzar una plataforma de desenvolupament per Windows que permet desenvolupar SCADAs per telèfons mòbils Android i alhora permet interactuar amb servidors OPC UA. En concret, es va triar TeslaSCADA2(5) per desenvolupar el sistema SCADA per dispositius mòbils Android, ja que aquesta plataforma de desenvolupament disposa d'una gran capacitat de personalització de l'HMI, permetent així la creació de SCADAs més professionals. A més, permet la programació de codis, possibilitant així el càlcul de l'OEE del sistema de producció.

2.3 DESENVOLUPAMENT DE LES SOLUCIONS ESCOLLIDES

Per tal de desenvolupar correctament el sistema dissenyat, aquest es va dividir en 3 blocs principals:

- **Bloc de control de les estacions:** Aquest bloc està format pels algorismes de control de les 3 estacions del sistema integrat de producció, possibilitant tant el control autònom de la línia de producció com el control remot.
- **Bloc de comunicacions:** Aquest bloc està format pels diferents servidors i canals de comunicacions que actuen com nexa d'unió de la informació entre el bloc de control de les estacions i el de supervisió.

- **Bloc de supervisió:** Aquest bloc està format pel sistema de control i supervisió de la producció mitjançant un dispositiu mòbil.

2.3.1 BLOC DE CONTROL DE LES ESTACIONS

Les estacions de treball del sistema de producció estudiat estan controlades per un PLC cadascuna, que s'encarrega d'activar i desactivar actuadors de l'estació en funció dels valors actuals de les entrades provinents de diversos sensors i de la lògica de control programada.

Els PLCs de les 3 estacions de treball són OMRON NJ101-1020(6). Aquests PLCs disposen de 2 targetes d'expansió d'entrades (NX-ID4442) i 2 d'expansió de sortides (NX-OD4256), que permeten als PLCs interactuar amb els sensors i actuadors del sistema. Aquestes targetes d'expansió estan connectades mitjançant un canal de comunicacions EtherCAT amb cada PLC. L'esquema comú dels components de cadascun dels PLCs del sistema es pot observar en la Figura 2.2.

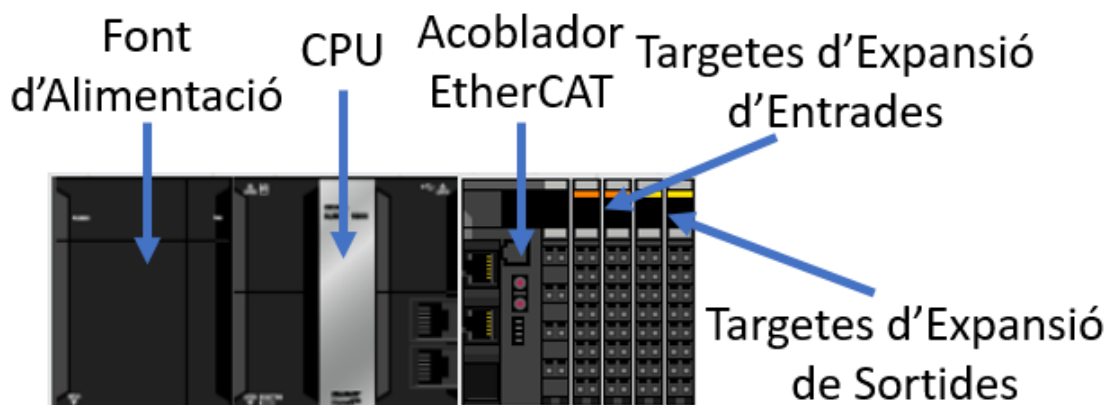


Figura 2.2 Esquema dels components que incorpora cada PLC.

Totes les estacions de treball estan accionades de forma pneumàtica. Això implica que la majoria d'actuadors del sistema són cilindres pneumàtics, ja siguin de simple o de doble efecte. Però també hi ha altres actuadors com són els motors elèctrics.

Cadascuna de les estacions disposa d'una botonera que permet controlar el funcionament de l'estació. En la Figura 2.3 es mostra la botonera de control d'una de les estacions de treball, que presenta la mateixa estructura que en les altres 2 estacions.



Figura 2.3 Botonera de control d'una de les estacions de treball.

Els botons i selectors utilitzats per controlar les estacions són els següents:

- **Selector MAN / AUTO:** Permet seleccionar el tipus d'execució de la seqüència en mode RUN (Execució) de l'estació. Si està en la posició MAN (Manual), per executar cada pas de la seqüència cal pulsar sobre el botó MARCHA. En canvi, si està en la posició AUTO (Automàtic), un cop que es polsa inicialment sobre el botó MARCHA, funciona autònomament, executant el següent pas de la seqüència quan les condicions lògiques que s'han programat es compleixen.
- **Botó MARCHA:** S'utilitza per iniciar la seqüència en mode RUN de l'estació. A més, permet executar la seqüència de l'estació pas a pas si el selector MAN /AUTO està en la posició MAN.
- **Botó RESET:** Executa la seqüència de reset. Aquesta seqüència, que és obligatòria després d'una parada d'emergència, s'encarrega de posar l'estació en les condicions inicials necessàries per executar correcta i indefinidament la seqüència de l'estació en mode RUN.
- **Botó enclavat EMERGENCIA:** Aquest botó de Parada d'Emergència (PE), permet parar completament l'estació de treball al trobar-se amb una emergència o problema. Aquest botó desactiva l'alimentació d'aire de l'estació, desconnectant així els actuadors pneumàtics. A més, mitjançant la programació del PLC, es desconnecten totes les sortides del PLC i s'atura qualsevol tasca que s'estigui executant. Aquest botó no és un botó normal, ja que un cop es polsa queda enclavat indefinidament. Per desenclavar-ho, cal girar-ho, fent que el botó torni a pujar a la posició original. Cal dir que per començar inicialment l'execució de la seqüència després d'alimentar elèctricament el sistema, es necessari pulsar i després desenclavar aquest botó.

Les estacions de treball poden estar en diferents estats durant el seu funcionament. Alguns d'aquests estats són comuns en les 3 estacions, mentre altres són únics o presents només en 2 estacions. Els estats en que poden estar les estacions de treball són:

- **RUN (Estacions I, II i III):** L'estació està en aquest estat quan està executant el processament de la peça corresponent. Aquest estat no inclou la situació en la que l'estació està esperant una peça en la cinta d'entrada d'alimentació de l'estació.
- **RESET (Estacions I, II i III):** L'estació està en aquest estat quan està executant la seqüència de reset de l'estació.
- **STOP (Estacions I, II i III):** L'estació està en aquest estat quan està polsat el botó de PE i també després de desenclavar-ho a l'espera de que es polsi el botó de RESET per iniciar la seqüència de reset.
- **IDLE (Estacions II i III):** L'estació està en aquest estat quan està a l'espera un peça per la cinta d'alimentació de l'estació.
- **ERROR (Estació I):** L'estació està en aquest estat quan el buffer d'alimentació de peces no disposa de més peces. Quan està en aquest estat els operaris de manteniment han de reomplir les peces en el buffer i polsar sobre el botó de reset, passant l'estació a l'estat de RESET.

El sistema disposa de 3 estacions de treball que s'encarreguen de tasques diferents dins del sistema integrat de producció. Aquestes són autònomes entre si, per lo que tot i que una d'elles deixi de funcionar, per exemple degut a una parada de manteniment, les altres poden continuar funcionant i processant les peces que van rebent. Les diferents estacions de treball que conformen el sistema integrat de producció són:

- **Estació I:** Aquesta estació de treball s'encarrega d'alimentar el sistema amb peces sense processar des d'un buffer d'alimentació de peces.
- **Estació II:** Aquesta estació de treball s'encarrega de foradar les peces que li arriben de l'estació anterior amb un trepant.
- **Estació III:** Aquesta estació de treball s'encarrega de verificar la presència de forat en les peces subministrades per l'estació anterior. Quan la verificació determina que no hi ha forat en la cara examinada, es volteja la peça per tal de verificar també l'altra cara.

2.3.1.1 ESTACIÓ I

L'estació I de treball és la primera estació del sistema integrat de producció i s'encarrega de subministrar les peces a la línia de producció. Les peces provenen d'un buffer d'alimentació on es carreguen les peces a processar pel sistema.

En concret, aquesta estació ha d'elevat les peces des d'on està el buffer d'alimentació fins a l'alçada on està la cinta transportadora de sortida, que portarà les peces a la següent estació de treball del sistema productiu.

En la Figura 2.4 es mostra un esquemàtic representatiu de l'estació on s'indiquen els principals actuadors de l'estació.

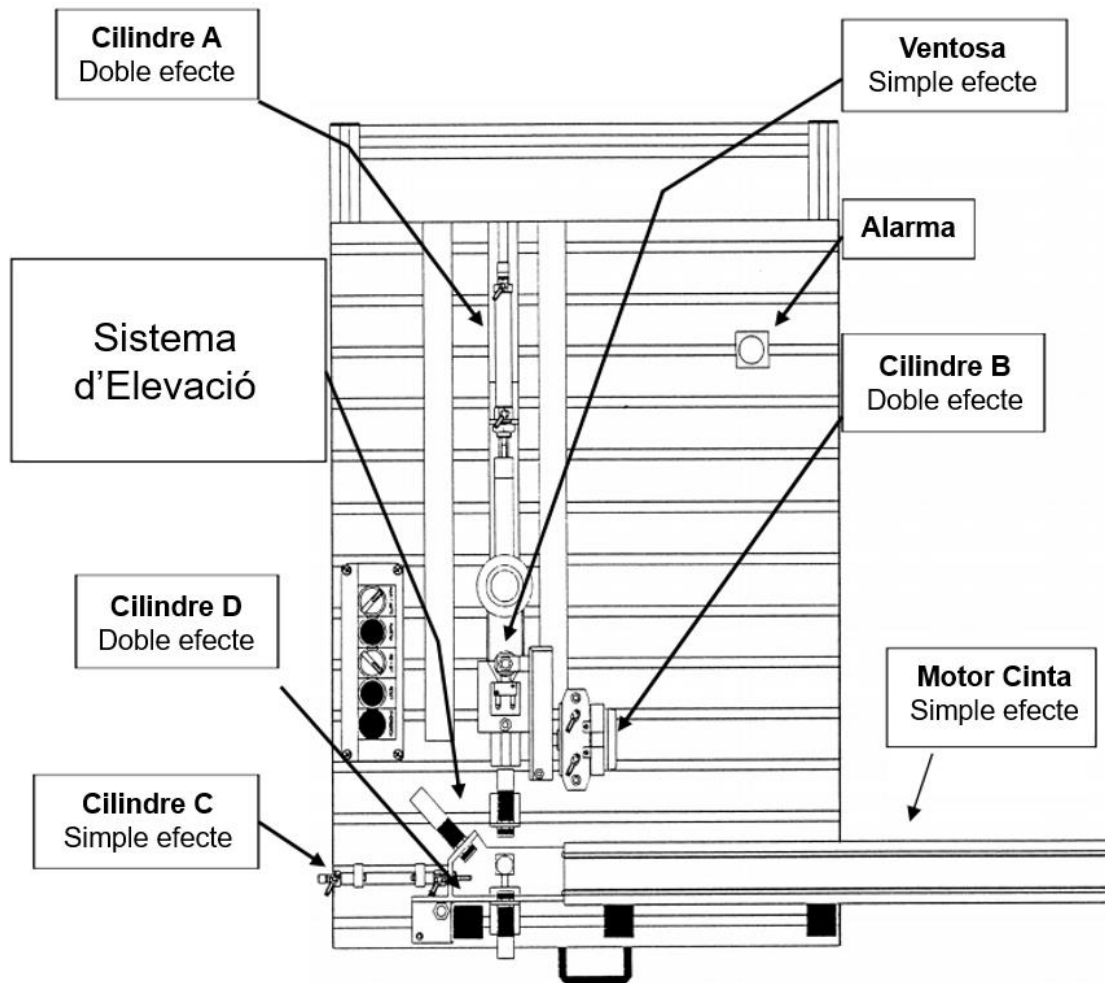


Figura 2.4 Esquema dels elements de l'estació I.

Tots els components, ja siguin actuadors o sensors, que conformen l'estació I estan nombrats en la Taula 2.1. En aquesta taula també s'indica l'abreviació que s'utilitza per nombrar cada component i la direcció física on s'ha connectat. La direcció està codificada tal que S indica que està connectat en una targeta de sortides i E indica que ho està en una d'entrades. El número que va després de la S o E indica en quina de les dos targetes d'expansió de cada tipus està connectat i el número que va després de "pos" en quina posició de la targeta d'expansió està connectat el component.

Taula 2.1 Components de l'estació I amb l'abreviació i la direcció de connexió.

Component	Abreviació	Direcció
Cilindre A (doble efecte)	A+	S1 pos0
	A-	S1 pos1
Sensor final de carrera en extensió del cilindre A	a1	E1 pos5
Cilindre B (doble efecte)	B+	S1 pos2
	B-	S1 pos3
Sensor final de carrera en contracció del cilindre B	b0	E1 pos7
Sensor final de carrera en extensió del cilindre B	b1	E2 pos0
Cilindre C (simple efecte)	C+	S1 pos4
Sensor final de carrera en contracció del cilindre C	c0	E2 pos1
Sensor final de carrera en extensió del cilindre C	c1	E2 pos2
Cilindre D (doble efecte)	D+	S1 pos5
	D-	S1 pos6
Sensor final de carrera en contracció del cilindre D	d0	E2 pos3
Sensor final de carrera en extensió del cilindre D	d1	E2 pos4
Ventosa (simple efecte)	E+	S1 pos7
Motor Cinta (simple efecte)	M+	S2 pos0
Vàlvula aire comprimit (simple efecte)	V+	S2 pos1
Sensor de presència de peça	SP	E1 pos6
Sensor òptic	SC1	E2 pos5
Sensor capacitiu	SC2	E2 pos6
Sensor inductiu	SC3	E2 pos7
Selector Automàtic/Manual	AM	E1 pos2
Botó Marxa	M	E1 pos1
Selector Integrat/Independent	II	E1 pos4
Botó Reset	R	E1 pos3
Botó Parada d'Emergència	PE	E1 pos0
Pilot d'Alarma	AL	S2 pos2

Per tal de que l'estació pugui funcionar amb normalitat en mode RUN, cal que els diferents components del sistema es trobin en les condicions inicials descrites en la taula 2.2. Aquestes condicions inicials són assolides duran la seqüència de reset de l'estació.

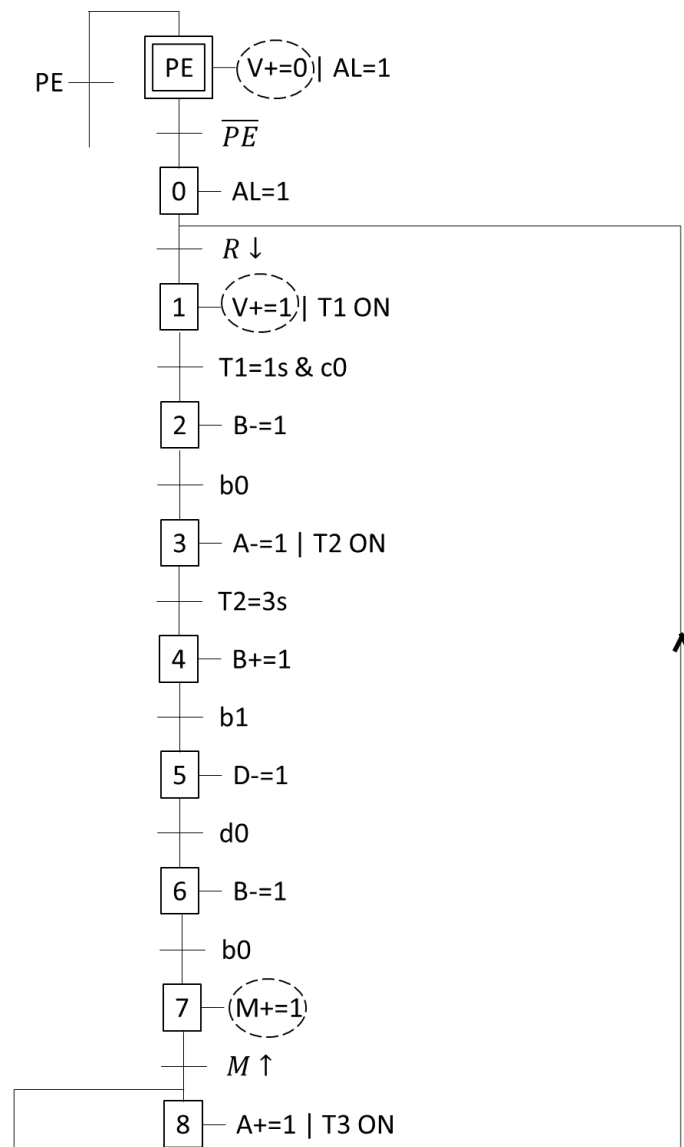
Taula 2.2 *Condicions inicials del components de l'estació I.*

Component	Condicció Inicial
Cilindre A (doble efecte)	A-, a1=0
Cilindre B (doble efecte)	B-, b0=1
Cilindre C (simple efecte)	C+=0, c0=1
Cilindre D (doble efecte)	D-, d0=1
Ventosa (simple efecte)	E+=0
Motor Cinta (simple efecte)	M+
Vàlvula aire comprimit (simple efecte)	V+

Partint de les condicions inicials de funcionament, s'han establert els següents passos que segueix l'estació I per tal d'aconseguir desenvolupar la funcionalitat desitjada:

- 1) El cilindre d'alimentació de peces (A) s'estén, fent que s'alimenti l'estació d'una peça, que es subministrada pel buffer d'alimentació.
- 2) Temporització de 5 segons per poder llegir el sensor de presència de peça (degut a la manca d'un sensor a1). Mitjançant el sensor de presència de peça de l'alimentador es pot saber quan hi ha peça. En el cas que no hi hagi peça, s'activa el pilot d'alarma i la seqüència es para, a l'espera de que es reposin les peces en el buffer i es polsi posteriorment en el botó de RESET.
- 3) El cilindre de recollida de peces (B), que és un cilindre giratori, es dirigeix a la posició de recollida de peces.
- 4) El cilindre que actua com sistema d'elevació o ascensor de la peça (D, que inicialment ha de tenir una peça a sobre seu, puja a la posició de descàrrega.
- 5) Quan l'ascensor (cilindre D) està en la posició superior, s'expulsa la peça sobre la cinta transportadora mitjançant el cilindre d'expulsió de peces (C).
- 6) Es retreu el cilindre d'expulsió de peces (C).
- 7) Es baixa el cilindre que governa l'ascensor de l'estació (cilindre D).
- 8) Degut a que el cilindre de recollida de peces (B) es troba en la posició d'alimentació de peces, s'activa la ventosa (E) per lo que s'agafarà una peça.
- 9) Es retreu el cilindre d'alimentació de peces (A).
- 10) El cilindre de recollida de peces (B) amb la ventosa activada, per tant transportant una peça, es dirigeix a l'ascensor.
- 11) Amb el cilindre de recollida de peces (B) sobre l'ascensor, es desactiva la ventosa (E), deixant així una peça sobre l'ascensor i deixant de nou l'estació en condicions inicials.

Per tal d'aconseguir que l'estació I realitzi els passos descrits i a més les seqüències de reset i la parades d'emergència, s'ha dissenyat el GRAFCET de l'algorisme de control de l'estació de la Figura 2.5. Cal dir que està simplificat per tal millorar l'enteniment d'aquest. Cada cop que es polsa el botó PE la seqüència salta a l'etapa PE. A més, a partir de polsar el botó de marxa (M), després de la seqüència de reset, la seqüència s'executa pas a pas (polsant el botó M) o automàticament en funció del selector AM, tot i que no està indicat. També cal dir que per norma general els actuadors s'activen només en l'etapa on s'indiquen, excepte en el cas que estiguin envoltats amb cercles discontinus, aleshores mantenen el seu estat d'activació indefinidament o fins que hi hagi una altra etapa que ho contradigui i també estarà envoltada per un cercle discontinu.



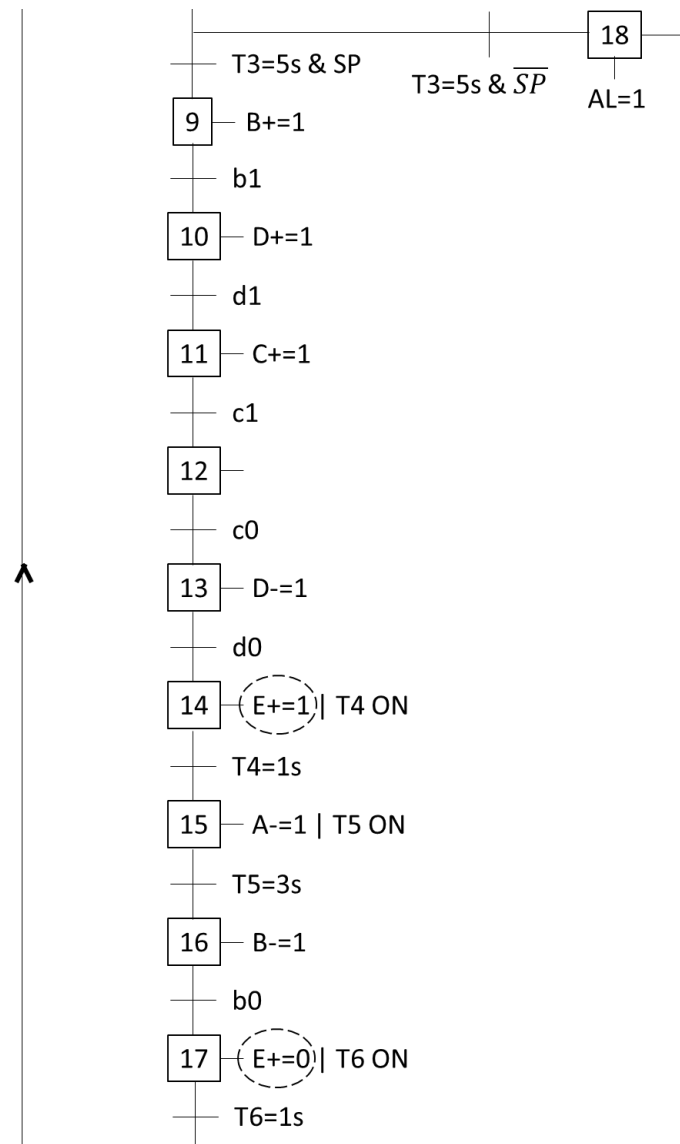


Figura 2.5 GRAFCET de l'algorisme de control de l'estació I.

El programa utilitzat per programar les estacions de treball és el Sysmac Studio(7). Aquest programa permet utilitzar variables lògiques, en comptes de direccions de connexió, per utilitzar les entrades i sortides connectades al PLC. Això és possible sempre i quan es relacionin en el mapa d'entrades i sortides aquestes amb les seves direccions de connexió. El codi del programa desenvolupat es pot consultar en l'Annex A.1. El codi està estructurat en diferents apartats depenent de la seva funcionalitat:

- **Seqüència:** Controla l'execució normal del programa. És l'apartat on està implementat l'algorisme de control de l'estació.

- **Sortides:** Activa les sortides de l'estació, que activen els actuadors, en funció de l'etapa actual de la Seqüència.
- **Estats:** Relaciona cada estat de l'estació amb l'etapa lògica actual de la Seqüència. Posteriorment codifica l'estat de l'estació en un número (entre el 0 i el 4) per tal de poder-lo enviar a l'SCADA.
- **Conversió:** Permet un control dual de l'estació, on es combinen els valors del servidor OPC i de la botonera per controlar si l'execució és manual o automàtica.

Els codis, comuns per totes les estacions, que s'utilitzen per codificar cada estat en que poden estar les estacions, per poder ser interpretats per l'SCADA, estan descrits en la Taula 2.3.

Taula 2.3 Codificació dels estats en que poden estar les estacions de treball.

Estat	Codi
RUN	0
RESET	1
STOP	2
IDLE	3
ERROR	4

2.3.1.2 ESTACIÓ II

L'estació II de treball és la segona estació del sistema integrat de producció i és l'encarregada de foradar les peces que li subministra l'estació I. Per fer-ho, disposa d'un cilindre de doble tija que és l'encarregat de recollir i expulsar les peces de l'estació de forma simultània. Aquestes peces es depositen sobre un plat giratori que les posiciona davall d'un trepant encarregat de realitzar els forats en les peces, que es fixen prèviament mitjançant un cilindre de simple efecte.

En la Figura 2.6 es mostra un esquemàtic representatiu de l'estació on s'indiquen els principals actuadors d'aquesta.

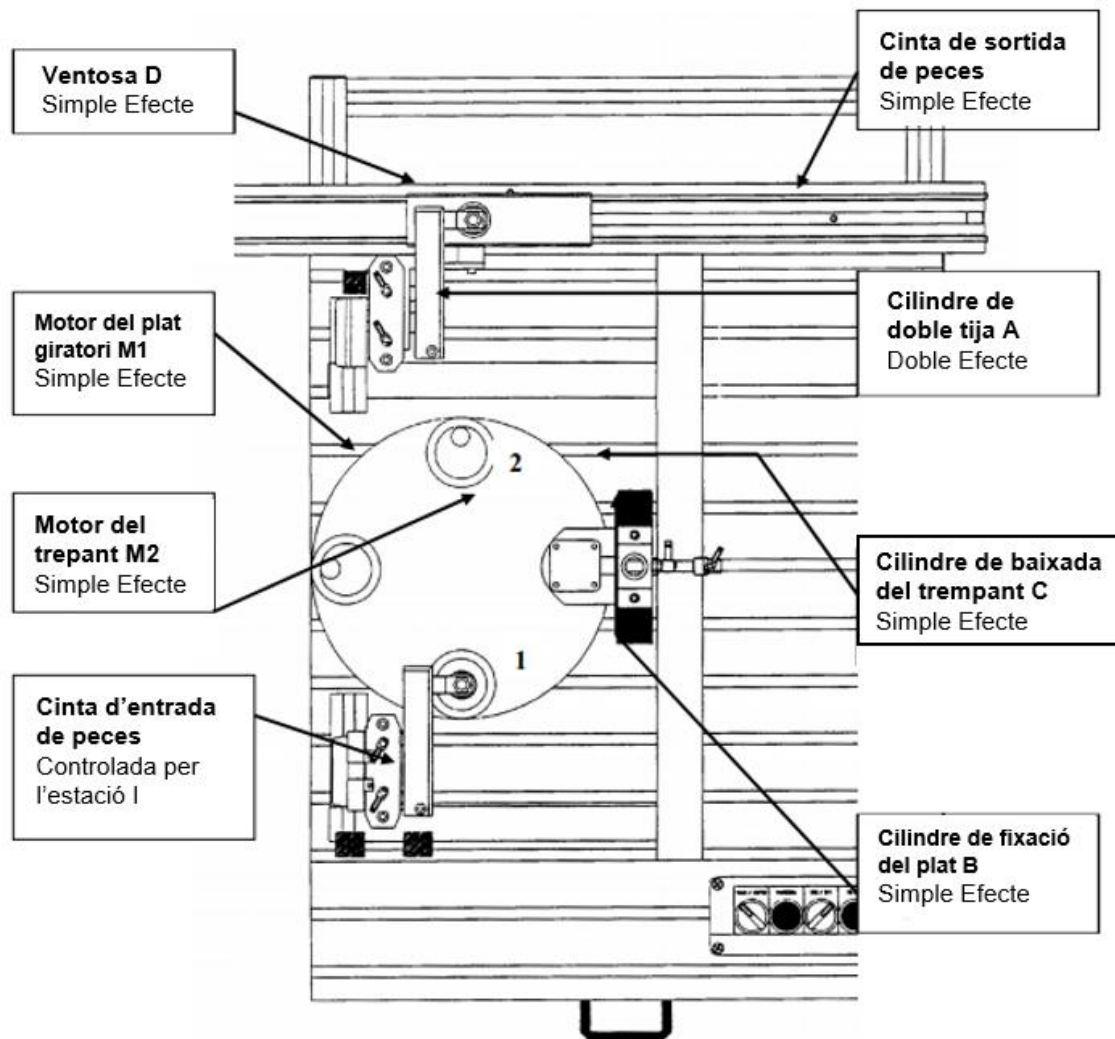


Figura 2.6 Esquema dels elements de l'estació II.

Tots els components, ja siguin actuadors o sensors, que conformen l'estació II estan nombrats en la Taula 2.4. Aquesta taula segueix l'estructura ja descrita per l'estació I en la Taula 2.1, per lo que s'indica el component, l'abreviació i la direcció física on s'ha connectat.

Taula 2.4 Components de l'estació II amb l'abreviació i la direcció de connexió.

Component	Abreviació	Direcció
Cilindre A (doble efecte i doble tija)	A+	S1 pos0
	A-	S1 pos1
Sensor final de carrera en contracció del cilindre B	a0	E1 pos0
Sensor final de carrera en extensió del cilindre A	a1	E1 pos1

Cilindre B (simple efecte)	B+	S1 pos2
Sensor final de carrera en contracció del cilindre B	b0	E1 pos2
Sensor final de carrera en extensió del cilindre B	b1	E1 pos3
Cilindre C (simple efecte)	C+	S1 pos3
Sensor final de carrera en contracció del cilindre C	c0	E1 pos4
Sensor final de carrera en extensió del cilindre C	c1	E1 pos5
Ventosa (simple efecte)	D+	S1 pos4
Sensor de buit	SV	E2 pos6
Motor del plat giratori (simple efecte)	M1+	S1 pos6
Motor del trepant (simple efecte)	M2+	S1 pos5
Motor de la cinta (simple efecte)	M3+	S2 pos0
Vàlvula d'aire comprimit (simple efecte)	V+	S1 pos7
Sensor de presència de peça en la cinta	SP	E2 pos5
Sensor de presencia de peça en el plat	SPP	E1 pos7
Sensor de posició del plat	SPO	E1 pos6
Selector Automàtic / Manual	AM	E2 pos2
Botó Marxa	M	E2 pos1
Selector Integrat / Independent	II	E2 pos3
Botó Reset	R	E2 pos4
Pulsador Parada d'Emergència	PE	E2 pos0

Per tal de que l'estació pugui funcionar amb normalitat en mode RUN, cal que els diferents components del sistema es trobin en les condicions inicials descrites en la taula 2.5. Aquestes condicions inicials són assolides duran la seqüència de reset de l'estació.

Taula 2.5 *Condicions inicials del components de l'estació II.*

Component	Condicció Inicial
Cilindre A (doble efecte i doble tija)	A-, a0=1
Cilindre B (simple efecte)	B+=0, b0=1
Cilindre C (simple efecte)	C+=0, c0=1
Ventosa (simple efecte)	D+=0

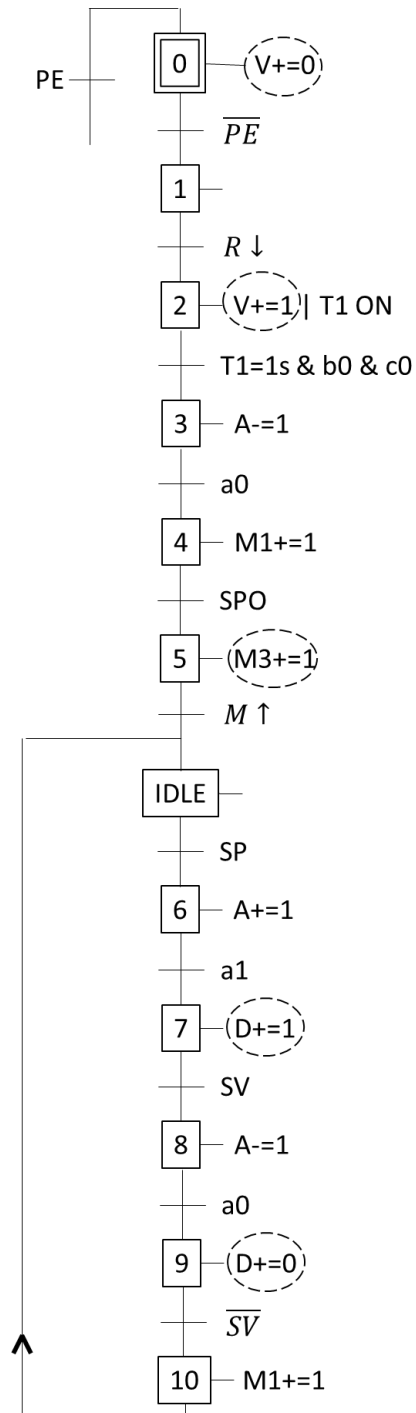
Motor de la cinta (simple efecte)	M3+
Motor del plat giratori (simple efecte)	M1+=0
Motor del trepant (simple efecte)	M2+=0
Sensor posició del plat	SPO=1
Sensor de presència de peça en la cinta	SP=1
Sensor de presencia de peça en el plat	SPP=0
Vàlvula d'aire comprimit (simple efecte)	V+

Partint de les condicions inicials de funcionament, s'han establert els següents passos que segueix l'estació II per tal d'aconseguir desenvolupar la funcionalitat desitjada:

- 1) El cilindre de doble tija (A), que és un cilindre giratori, es dirigeix a recollir una peça de la cinta transportadora controlada per l'estació I. Al ser un cilindre de doble tija, també recull una peça del plat giratori per ser depositada sobre la cinta transportadora de sortida de peces de l'estació.
- 2) S'activa la ventosa (D) d'aquest cilindre per recollir la peça de la cinta transportadora i del plat giratori.
- 3) El cilindre de doble tija (A) es dirigeix a la posició de deixar les peces.
- 4) Es desactiva la ventosa (D) alliberant les peces, que es deixen sobre el plat giratori y sobre la cinta transportadora respectivament.
- 5) S'activa el motor del plat giratori (M1) per a situar la peça davall del trepant. Aquest motor es manté activat fins que s'activa el sensor de posició del plat, fet que passa quan el plat giratori arriba a una de les 4 posicions establertes.
- 6) S'activa el motor del trepant (M2).
- 7) Es fixa la peça en el seu compartiment sobre el plat giratori, expulsant el cilindre de fixació de peces (B).
- 8) S'activa el cilindre de baixada del trepant (C) per foradar la peça.
- 9) Quan el cilindre (C) arriba al final del seu recorregut es puja, pujant així el trepant.
- 10) Es para el motor del trepant (M2).
- 11) Es desbloqueja el cilindre de fixació de peces (B), deixant de nou l'estació en condicions inicials de funcionament.

Per tal d'aconseguir que l'estació II realitzi els passos descrits i a més les seqüències de reset i la parades d'emergència, s'ha dissenyat el GRAFCET de l'algorisme de control de l'estació de la Figura 2.7. Cal dir que, com en l'estació I, aquest està simplificat per tal millorar el seu enteniment. Cada cop que es polsa el botó PE la seqüència salta a l'etapa 0. A més, a partir de polsar el botó de marxa (M), després de la seqüència de reset, la seqüència s'executa pas a pas (polsant el botó M) o automàticament en funció del selector AM, tot i que no està indicat. També cal dir que per norma general els actuadors s'activen només en l'etapa on s'indiquen, excepte en el cas que

estiguin envoltats amb cercles discontinus, aleshores mantenen el seu estat d'activació indefinidament o fins que hi hagi una altra etapa que ho contradigui i també estarà envoltada per un cercle discontinu.



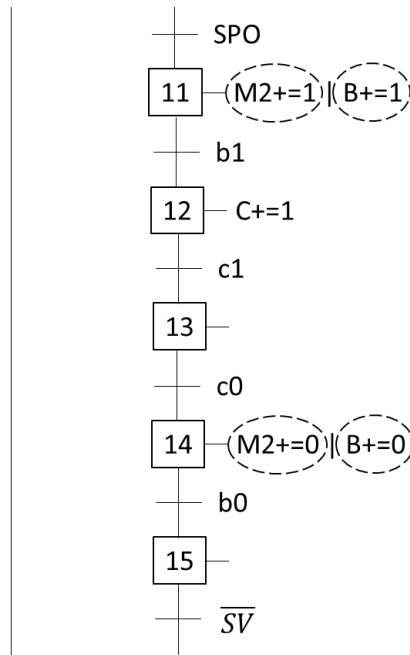


Figura 2.7 GRAFCET de l'algorisme de control de l'estació II.

El codi del programa desenvolupat es pot consultar en l'Annex A.2. El codi està estructurat en diferents apartats depenent de la seva funcionalitat:

- **Seqüència:** Controla l'execució normal del programa. És l'apartat on està implementat l'algorisme de control de l'estació.
- **Sortides:** Activa les sortides de l'estació, que activen els actuadors, en funció de l'etapa actual de la Seqüència.
- **Estats:** Relaciona cada estat de l'estació amb l'etapa lògica actual de la Seqüència. Posteriorment codifica l'estat de l'estació en un número (entre el 0 i el 4) per tal de poder-lo enviar a l'SCADA.
- **Conversió:** Permet un control dual de l'estació, on es combinen els valors del servidor OPC i de la botonera per controlar si l'execució és manual o automàtica.

2.3.1.3 ESTACIÓ III

L'estació III de treball és l'última estació del sistema integrat de producció i és l'encarregada de verificar les peces que li subministra l'estació II. Per fer-ho, disposa d'un cilindre que és l'encarregat de recollir les peces, traslladar-les a la zona de verificació i comprovar la presència de forat. Depenent de com arribin les peces, caldrà girar-les per comprovar si tenen forat en l'altra cara de les peces.

En la Figura 2.8 es mostra un esquemàtic representatiu de l'estació on s'indiquen els principals actuadors d'aquesta.

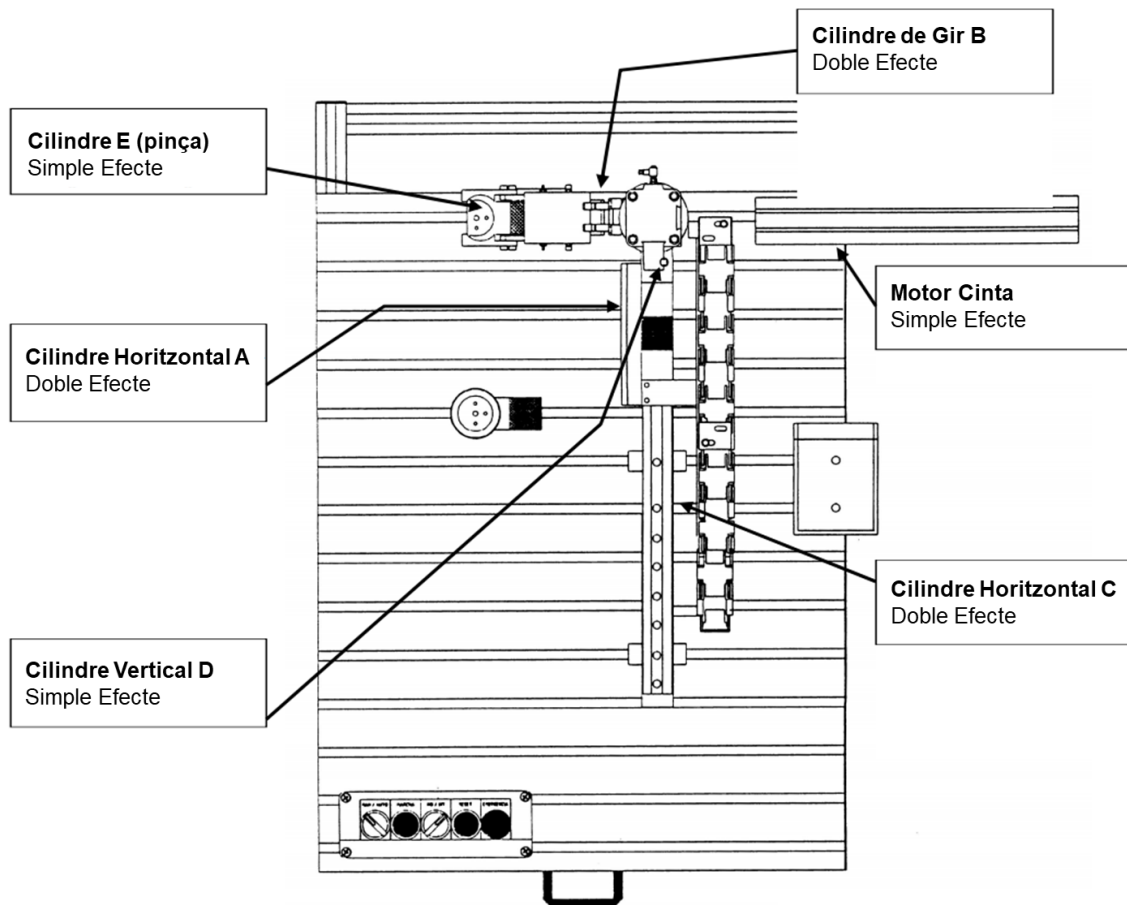


Figura 2.8 Esquema dels elements de l'estació III.

Tots els components, ja siguin actuadors o sensors, que conformen l'estació III estan nombrats en la Taula 2.6. Aquesta taula segueix l'estructura ja descrita en les estacions I i II, per lo que s'indica el component, l'abreviació i la direcció física on s'ha connectat.

Taula 2.6 Components de l'estació III amb l'abreviació i la direcció de connexió.

Component	Abreviació	Direcció
Cilindre A (doble efecte)	A+	S1 pos0
	A-	S1 pos1
Sensor final de carrera en contracció del cilindre B	a0	E1 pos5
Sensor final de carrera en extensió del cilindre A	a1	E1 pos6

Cilindre B (doble efecte)	B+	S1 pos2
	B-	S1 pos3
Sensor final de carrera en contracció del cilindre B	b0	E1 pos7
Sensor final de carrera en extensió del cilindre B	b1	E2 pos0
Cilindre C (doble efecte)	C+	S1 pos4
	C-	S1 pos5
Sensor final de carrera en contracció del cilindre C	c0	E2 pos1
Sensor final de carrera en extensió del cilindre C	c1	E2 pos2
Cilindre D (simple efecte)	D+	S1 pos6
Sensor final de carrera en contracció del cilindre C	d0	E2 pos3
Sensor final de carrera en extensió del cilindre C	d1	E2 pos4
Motor cinta M (simple efecte)	M+	S2 pos1
Pinça - Cilindre E (simple efecte)	E+	S1 pos7
Vàlvula d'aire comprimit (simple efecte)	V+	S2 pos0
Sensor de presència de peces en la zona de verificació	SPV	E2 pos5
Sensor de presència de forat en les peces	SPA	E2 pos6
Sensor de presència de peces en la cinta d'entrada	SP	E2 pos7
Selector Automàtic / Manual	AM	E1 pos2
Botó Marxa	M	E1 pos1
Selector Integrat / Independent	II	E1 pos3
Botó Reset	R	E1 pos4
Botó Parada d'Emergència	PE	E1 pos0

Per tal de que l'estació pugui funcionar amb normalitat en mode RUN, cal que els diferents components del sistema es trobin en les condicions inicials descrites en la taula 2.7. Aquestes condicions inicials són assolides duran la seqüència de reset de l'estació.

Taula 2.7 *Condicions inicials del components de l'estació III.*

Component	Condicció Inicial
Cilindre A (doble efecte)	A-, a0=1
Cilindre B (doble efecte)	B-, b0=1

Cilindre C (doble efecte)	C-, c0=1
Cilindre D (simple efecte)	D+=0, d0=1
Motor Cinta M (simple efecte)	M+
Pinça - Cilindre E (simple efecte)	E+=0
Sensor de presència de peces en la zona de verificació	SPV=0
Sensor de presència de peces en la cinta d'entrada	SP=1
Sensor de presència de forat en les peces	SPA=1

Cal dir que \overline{SPA} significa que hi ha forat en la cara examinada de la peça ubicada en la zona de verificació i SPA implica que no n'hi ha.

Partint de les condicions inicials de funcionament, s'han establert els següents passos que segueix l'estació III per tal d'aconseguir desenvolupar la funcionalitat desitjada:

- 1) El cilindre vertical de recollida de peces (D) baixa a la posició de l'alimentador de peces provinents de la cinta transportadora controlada per l'estació II.
- 2) S'activa el cilindre de la pinça (E) per recollir la peça.
- 3) El cilindre de recollida de peces (D) puja portant la peça recollida.
- 4) El cilindre horitzontal (A) es desplaça a la posició de verificació de peces.
- 5) El cilindre vertical de recollida de peces (D) baixa per deixar la peça en la zona de verificació.
- 6) El cilindre (E) obre la pinça i deixa la peça sobre la zona de verificació.
- 7) El cilindre de recollida de peces (D) puja.
- 8) Es verifica la presència de forat en la cara examinada de la peça amb el sensor de presència de forat. En funció de si hi ha o no forat en aquesta cara de la peça, s'executarà una seqüència o una altra.

Possibilitat A: Existeix forat en la cara examinada.

- 9) El cilindre de recollida de peces (D) baixa.
- 10) El cilindre (E) tanca la pinça i reté la peça.
- 11) El cilindre de recollida de peces (D) puja.
- 12) El cilindre de gir (C) gira per situar-se sobre la cinta transportadora de sortida.
- 13) El cilindre de recollida de peces (D) baixa.
- 14) El cilindre (E) obre la pinça i allibera la peça, deixant-la sobre la cinta transportadora.
- 15) El cilindre de recollida de peces (D) puja.
- 16) El cilindre de gir (C) torna a la posició de verificació.
- 17) El cilindre horitzontal (A) torna a la posició inicial sobre la cinta d'entrada de peces, deixant així de nou l'estació en condicions inicials de funcionament.

Possibilitat B: No existeix forat en la cara examinada.

- 9) El cilindre de recollida de peces (D) baixa.
- 10) El cilindre (E) tanca la pinça i reté la peça.
- 11) El cilindre de recollida de peces (D) puja.
- 12) El cilindre que gira les peces (B) gira la peça.
- 13) El cilindre de recollida de peces (D) baixa per deixar la peça sobre la zona de verificació.
- 14) El cilindre (E) obre la pinça i allibera la peça, deixant-la sobre la zona de verificació.
- 15) El cilindre de recollida de peces (D) puja.
- 16) Es verifica la presència de forat en la cara examinada de la peça amb el sensor de presència de forat. En funció de si hi ha o no forat en aquesta segona cara de la peça, i per tant en la peça, s'executarà una seqüència o una altra.

Possibilitat B.1: Existeix forat en la peça

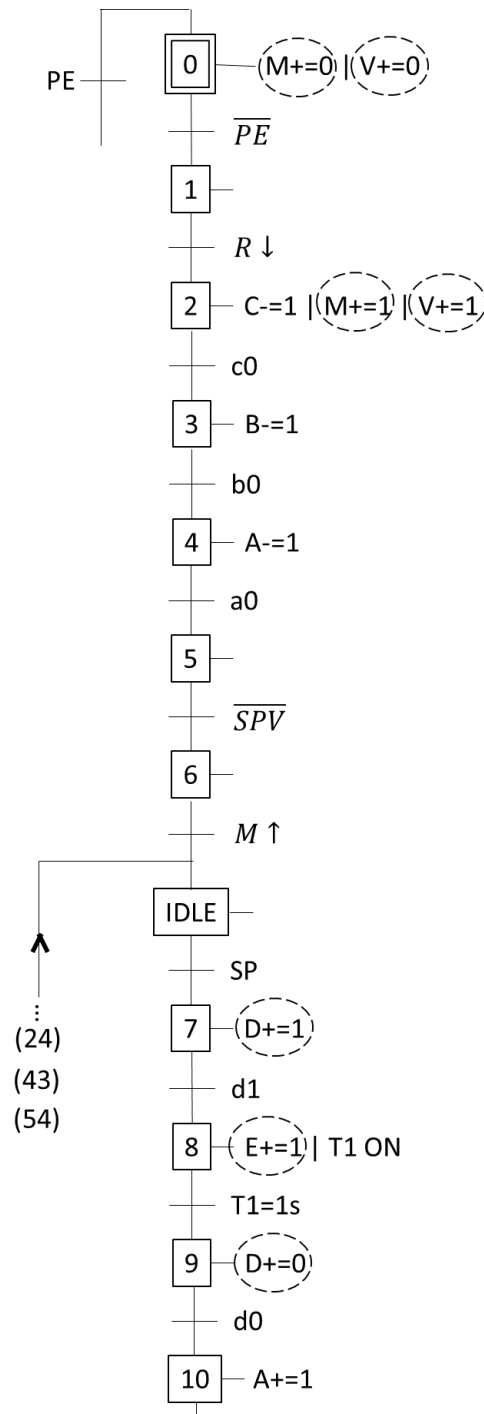
- 17) El cilindre de recollida de peces (D) baixa.
- 18) El cilindre (E) tanca la pinça i reté la peça.
- 19) El cilindre de recollida de peces (D) puja.
- 20) El cilindre de gir (C) gira per situar-se sobre la cinta transportadora de sortida.
- 21) El cilindre de recollida de peces (D) baixa.
- 22) El cilindre (E) obre la pinça i allibera la peça, deixant-la sobre la cinta transportadora.
- 23) El cilindre de recollida de peces (D) puja.
- 24) El cilindre de gir (C) torna a la posició de verificació.
- 25) El cilindre horitzontal (A) torna a la posició inicial sobre la cinta d'entrada de peces
- 26) El cilindre de gir de pinça (B) gira per tornar a la seva posició inicial, deixant així de nou l'estació en condicions inicials de funcionament.

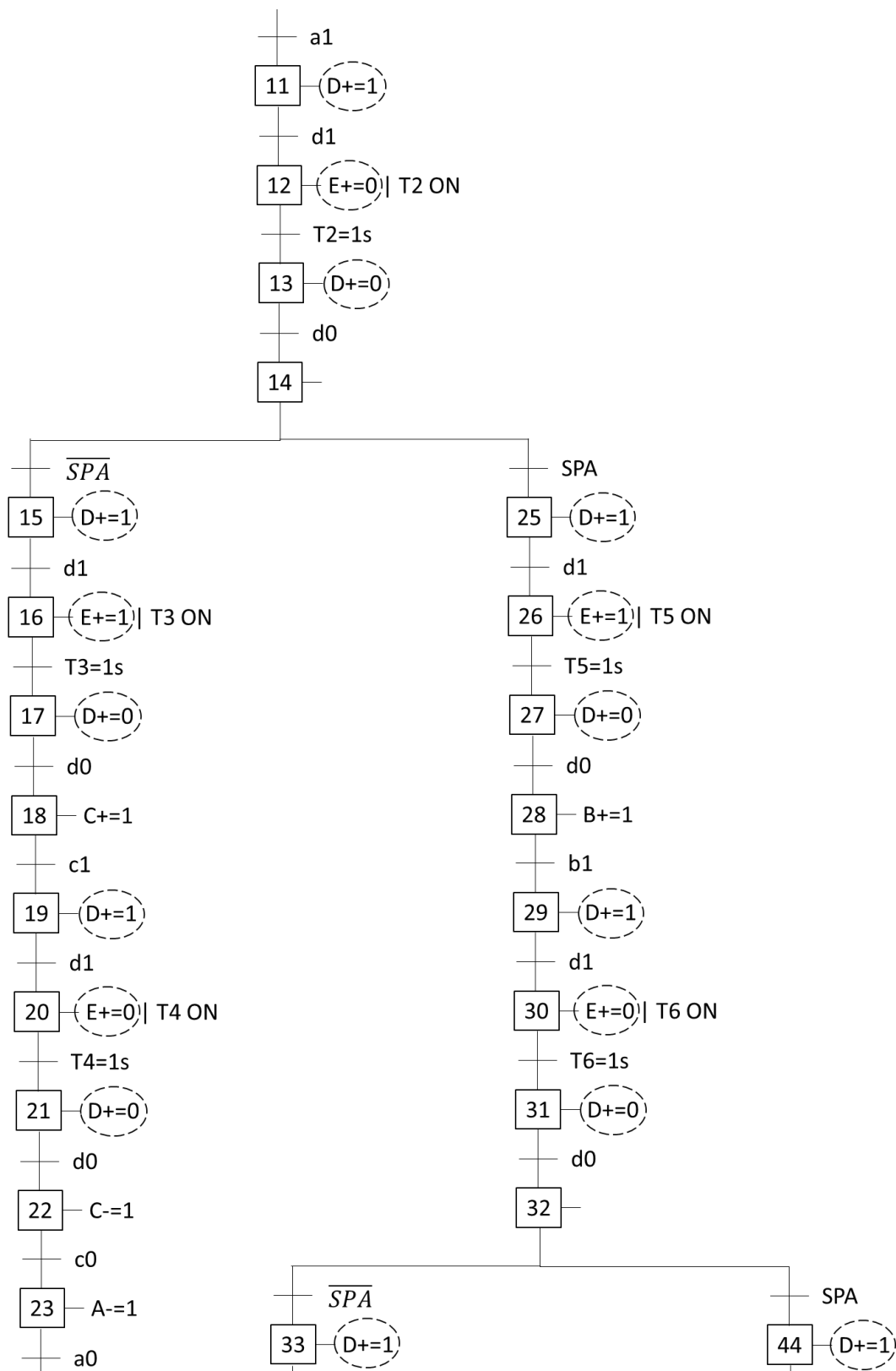
Possibilitat B.2: No existeix forat en la peça

- 17) El cilindre de recollida de peces (D) baixa.
- 18) El cilindre (E) tanca la pinça i reté la peça.
- 19) El cilindre de recollida de peces (D) puja.
- 20) El cilindre de gir (C) gira per situar-se sobre la cinta transportadora de sortida.
- 21) El cilindre horitzontal (A) torna a la posició inicial.
- 22) El cilindre de recollida de peces (D) baixa.
- 23) El cilindre (E) obre la pinça i allibera la peça, deixant-la sobre la zona de peces defectuoses.
- 24) El cilindre de recollida de peces (D) puja.
- 25) El cilindre de gir (C) torna a la posició inicial sobre la cinta transportadora de sortida.
- 26) El cilindre de gir de pinça (B) gira per tornar a la seva posició inicial, deixant així de nou l'estació en condicions inicials de funcionament.

Per tal d'aconseguir que l'estació III realitzi els passos descrits i a més les seqüències de reset i la parades d'emergència, s'ha dissenyat el GRAFCET de l'algorisme de control de l'estació de la Figura 2.9. Cal dir que, com en les estacions I i II, aquest està simplificat per tal millorar el seu enteniment. Cada cop que es polsa el botó PE la seqüència salta a l'etapa 0. A més, a partir de pulsar el botó de marxa (M), després de la seqüència de reset, la seqüència s'executa pas a pas

(polsant el botó M) o automàticament en funció del selector AM, tot i que no està indicat. També cal dir que per norma general els actuadors s'activen només en l'etapa on s'indiquen, excepte en el cas que estiguin envoltats amb cercles discontinus, aleshores mantenen el seu estat d'activació indefinidament o fins que hi hagi una altra etapa que ho contradigui i també estarà envoltada per un cercle discontinu.





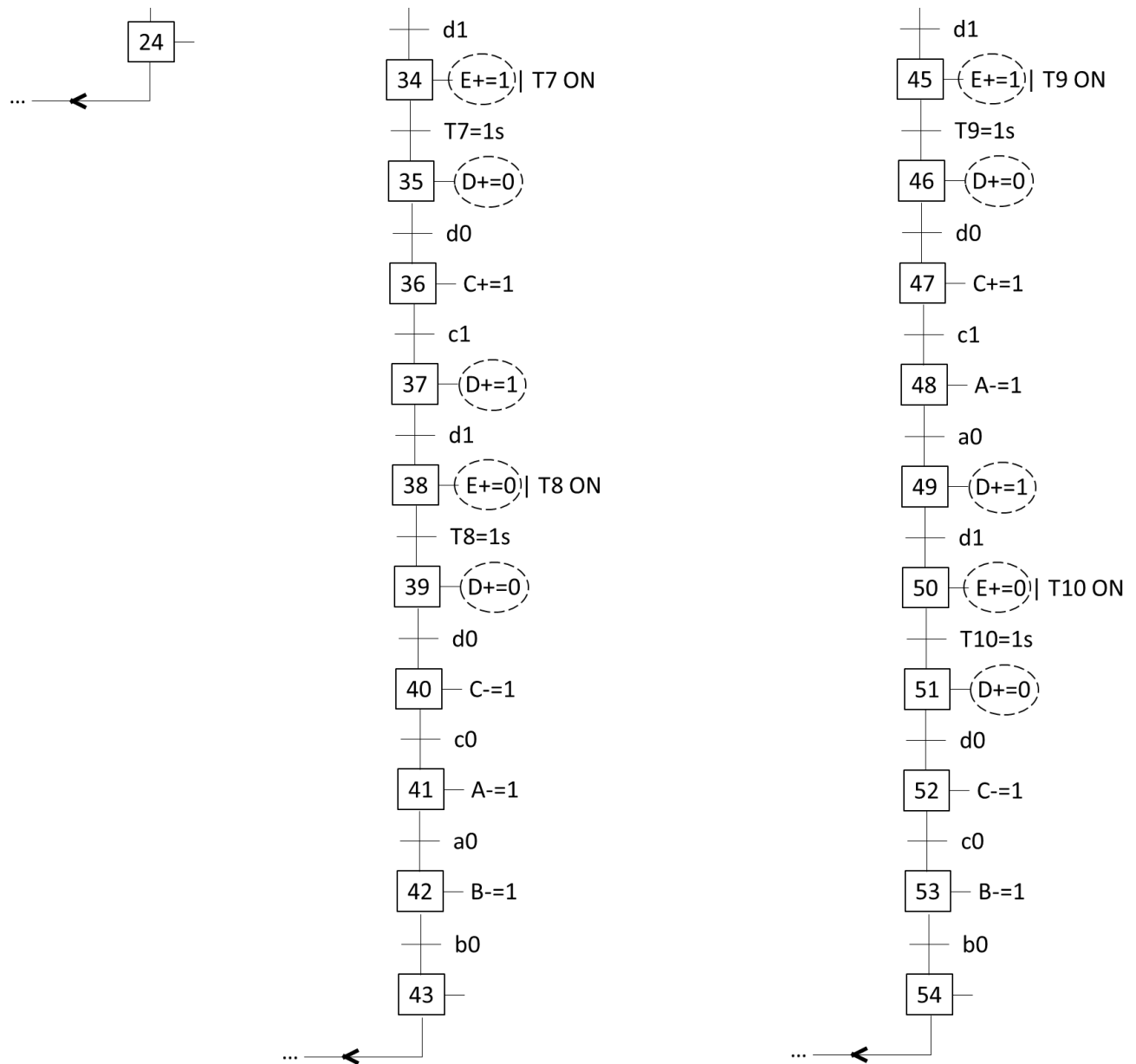


Figura 2.9 GRAFCET de l'algorisme de control de l'estació III.

El codi del programa desenvolupat es pot consultar en l'Annex A.3. El codi està estructurat en diferents apartats depenent de la seva funcionalitat:

- **Seqüència:** Controla l'execució normal del programa. És l'apartat on està implementat l'algorisme de control de l'estació.
- **Sortides:** Activa les sortides de l'estació, que activen els actuadors, en funció de l'etapa actual de la Seqüència.

- **Estats:** Relaciona cada estat de l'estació amb l'etapa lògica actual de la Seqüència. Posteriorment codifica l'estat de l'estació en un número (entre el 0 i el 4) per tal de poder-lo enviar a l'SCADA.
- **Comptadors:** Calcula algunes dades essencials pel càlcul de l'OEE en l'SCADA, com són el temps en marxa, en paro, el número de peces bones i el de dolentes.
- **Conversió:** Permet un control dual de l'estació, on es combinen els valors del servidor OPC i de la botonera per controlar si l'execució és manual o automàtica.

A partir de la realització d'assajos sobre l'estació III, es va observar que el temps de processament per peça mitjà en règim permanent era de 22s. A part de la presència de peces amb forat a la primera cara examinada, aquest assaig incloïa la presència d'un cert nombre de peces amb el forat en la cara oposada i també peces sense forat. Aquest temps mitjà de processament de cada peça és important pel càlcul de l'OEE per part de l'SCADA, degut a que aquesta estació era la que presentava un temps de processament per peça més elevat.

2.3.2 BLOC DE COMUNICACIONS

Aquest bloc està format pels diversos servidors i canals de comunicacions que disposa el sistema. S'encarrega de comunicar les dades sobre el rendiment del sistema i els estats de les estacions de treball a l'SCADA i també de comunicar les ordres de control de l'SCADA als PLCs de les estacions.

Per crear els servidors que serveixen com a nexa d'unió en els PLCs i l'SCADA, s'ha utilitzat la tecnologia OPC. L'OPC és un estàndard per l'intercanvi segur i fiable d'informació en el marc de l'automatització industrial i d'altres indústries. És una plataforma independent que assegura el flux transparent de la informació entre dispositiu de múltiples subministradors, actuant com a capa superficial de comunicacions de tecnologies de comunicacions d'altres fabricants, estandarditzant així l'ús de les comunicacions industrials utilitzades en el sistema OPC(8).

Per a la connexió entre els PLCs i el servidor general, es van crear servidors OPC DA. L'OPC DA és un tipus d'OPC Clàssic, ja que estan basats en la tecnologia de Microsoft Windows i utilitzen el DCOM (*Distributed Component Object Model*) per l'intercanvi d'informació entre els diferents components de software. En concret, l'OPC DA s'utilitza per l'intercanvi d'informació que inclou valors, temps i qualitat d'informació(9).

Per crear el servidor general, degut a la necessitat d'utilitzar diferents sistemes i també de transmetre la informació a través de la xarxa d'internet local, es va utilitzar la tecnologia OPC UA. L'OPC UA, creat l'any 2008, és una plataforma que integra totes les funcionalitats de cadascun dels tipus d'OPC Clàssic. Aquest presenta molts avantatges sobre els anteriors, com és la possibilitat d'utilitzar sistemes operatius que no siguin Microsoft Windows per comunicar-se amb

el servidor, gràcies a que les dades s'envien en el format estructurat XML (*Extensible Markup Language*). Un altre avantatge és la possibilitat d'utilitzar clients que es comuniquin mitjançant internet amb el servidor. A més, presenta mesures de seguretat com són l'encryptació de les dades o el control d'accés mitjançant autenticació, molt útils per a la comunicació segura a través d'internet(10).

L'estructura de comunicacions dissenyada pel sistema està formada per un servidor central OPC UA i 3 servidors OPC DA. En la Figura 2.10 es mostra l'estructura del sistema de comunicacions, on s'ubiquen els aplicatius que ho conformen i s'indiquen les seves connexions.

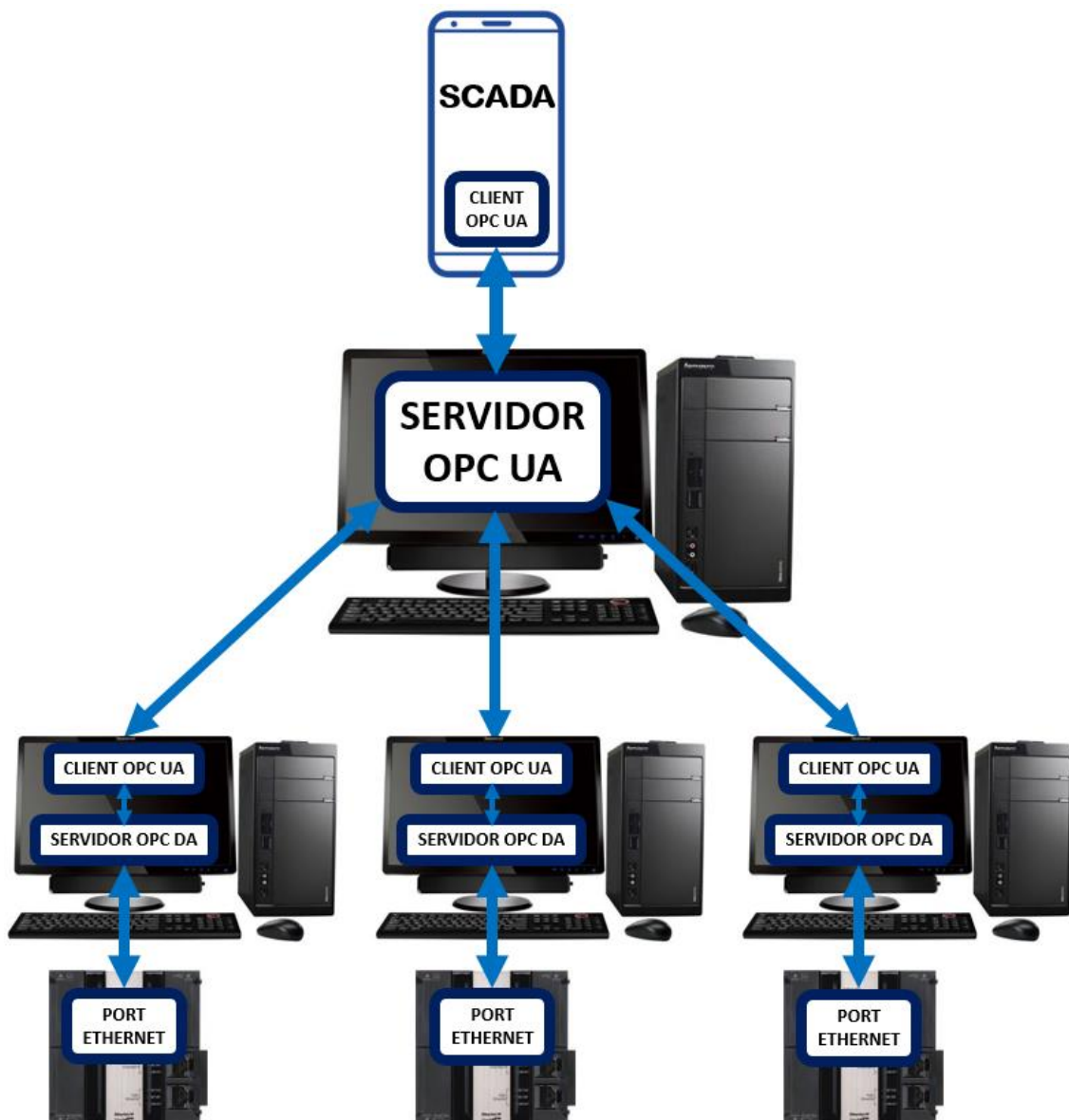


Figura 2.10 Estructura del sistema de comunicacions amb la ubicació física dels aplicatius.

Els servidors OPC DA recopilen les dades que envien i reben els PLCs que controlen les estacions de treball. Aquestes connexions, entre els PLCs i els ordinadors associats que allotgen els servidors OPC DA, es realitzen mitjançant Ethernet. Per contra, les connexions amb el servidor central OPC UA es realitzen localment mitjançant internet i utilitzant un client OPC UA per cadascun dels servidors OPC DA.

El servidor central OPC UA recopila tota la informació a rebre i enviar pels servidors OPC DA i per l'SCADA. La comunicació amb tots ells es realitza localment mitjançant internet, utilitzant tots ells un client OPC UA per accedir als *tags* que emmagatzemen els valors de les variables. En concret, s'utilitza la tecnologia TCP/IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*) per establir les connexions entre els clients i el servidor central. El protocol de comunicacions TCP/IP defineix com s'ha d'establir i mantenir una comunicació entre dos o més dispositius connectats en xarxa per transmetre informació entre ells. A més, també defineix com s'ha de dividir la informació a enviar en paquets més petits i com gestionar els possibles errors de comunicació i de transmissió(11).

Cadascun dels servidors OPC DA necessiten rebre i transmetre una sèrie de *tags* als PLCs que controlen les estacions de treball. Aquests *tags* ja estan configurats als programes dels PLCs per ser enviats i rebuts des dels corresponents servidors OPC DA.

En les Taules 2.8, 2.9 i 2.10 s'indiquen les llistes de *tags* dels servidor OPC DA associats a les estacions I, II i III respectivament, indicant els tipus de dades del *tags*.

Taula 2.8 Llista de *tags* del servidor OPC DA de l'estació I.

Nom del Tag	Tipus de Dades
AM_SCADA	Booleà
Control_SCADA	Booleà
Estado_Estacion1_SCADA	Enter de 16 bits amb signe
M_SCADA	Booleà
PE_SCADA	Booleà
R_SCADA	Booleà

Taula 2.9 Llista de *tags* del servidor OPC DA de l'estació II.

Nom del Tag	Tipus de Dades
AM_SCADA	Booleà
Control_SCADA	Booleà
Estado_Estacion2_SCADA	Enter de 16 bits amb signe

M_SCADA	Booleà
PE_SCADA	Booleà
R_SCADA	Booleà

Taula 2.10 Llista de tags del servidor OPC DA de l'estació III.

Nom del Tag	Tipus de Dades
AM_SCADA	Booleà
Control_SCADA	Booleà
Estado_Estacion3_SCADA	Enter de 16 bits amb signe
M_SCADA	Booleà
PE_SCADA	Booleà
Piezas_Buenas_SCADA	Enter de 16 bits amb signe
Piezas_Malas_SCADA	Enter de 16 bits amb signe
R_SCADA	Booleà
Tiempo_Marcha_SCADA	Enter de 32 bits amb signe
Tiempo_Paro_SCADA	Enter de 32 bits amb signe

El servidor central OPC UA recopila tots aquests tags, tenint en compte que alguns són compartits entre els servidors OPC DA. Per a que un tag pugui ser utilitzat per més d'un servidor, cal que els servidors, que actuen com a clients del servidor central, utilitzin la mateixa direcció de l'espai de noms del servidor central per referir-se a un mateix tag. La llista de tags del servidor OPC UA, indicant els tipus de dades dels tags i la seva adreça dins de l'espai de noms del servidor es pot observar en la Taula 2.11.

Taula 2.11 Llista de tags del servidor central OPC UA.

Nom del Tag	Tipus de Dades	Adreça
AM_SCADA	Booleà	ns=2;i=1
Control_SCADA	Booleà	ns=2;i=2
Estado_Estacion1_SCADA	Enter de 16 bits amb signe	ns=2;i=3
Estado_Estacion2_SCADA	Enter de 16 bits amb signe	ns=2;i=4
Estado_Estacion3_SCADA	Enter de 16 bits amb signe	ns=2;i=5
M_SCADA	Booleà	ns=2;i=6

PE_SCADA	Booleà	ns=2;i=7
Piezas_Buenas_SCADA	Enter de 16 bits amb signe	ns=2;i=8
Piezas_Malas_SCADA	Enter de 16 bits amb signe	ns=2;i=9
R_SCADA	Booleà	ns=2;i=10
Tiempo_Marcha_SCADA	Enter de 32 bits amb signe	ns=2;i=11
Tiempo_Paro_SCADA	Enter de 32 bits amb signe	ns=2;i=12

El programa utilitzat per crear i configurar els servidor OPC és el KEPServerEX(12). Aquest programa permet crear servidors OPC, tant els clàssics com UA, i configurar-los per establir les comunicacions i emmagatzemar els *tags* desitjats. A més, incorpora entre altres el *driver* (controlador) necessari per comunicar-se amb els PLCs mitjançant Ethernet.

Els canals de comunicacions que utilitzen els servidors OPC DA s'han configurat per utilitzar el driver d'Omron NJ Ethernet, que permet l'intercanvi de dades amb els PLCs. A més, per a la configuració en el servidor del PLC, se li ha assignat entre altres paràmetres la seva direcció IP local d'accés mitjançant Ethernet. Les direccions locals IP d'accés de cada PLC estan indicades en la Taula 2.12.

Taula 2.12 Direccions IP locals de cada PLC.

PLC	Direcció IP
PLC1	192.168.250.1
PLC2	192.168.250.2
PLC3	192.168.250.3

En les Figures 2.11, 2.12 i 2.13 es mostren els resums de les configuracions, realitzades en el programa KEPServerEX, dels servidors OPC DA associats a les estacions I, II i III respectivament.

Identification	
Name	PLC1
Description	
Driver	Omron NJ Ethernet
Model	Omron NJ
Channel Assignment	Channel1
ID	192.168.250.1
Operating Mode	
Data Collection	Enable
Simulated	No

Figura 2.11 Resum de la configuració del servidor OPC DA associat a l'estació I.

Identification	
Name	PLC2
Description	
Driver	Omron NJ Ethernet
Model	Omron NJ
Channel Assignment	Channel2
ID	192.168.250.2
Operating Mode	
Data Collection	Enable
Simulated	No

Figura 2.12 Resum de la configuració del servidor OPC DA associat a l'estació II.

Identification	
Name	PLC3
Description	
Driver	Omron NJ Ethernet
Model	Omron NJ
Channel Assignment	Channel3
ID	192.168.250.3
Operating Mode	
Data Collection	Enable
Simulated	No

Figura 2.13 Resum de la configuració del servidor OPC DA associat a l'estació III.

En les Figures 2.14, 2.15 i 2.16 es mostren les implementacions, realitzades en el programa
 KEPServerEX, dels servidors OPC DA associats a les estacions I, II i III respectivament, on
 s'observen els *tags* implementats i els seus paràmetres de configuració resumits.







Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate
 AM_SCADA	AM_SCADA	Boolean	100
 Control_SCADA	CONTROL_SCADA	Boolean	100
 Estado_Estacion1_SCADA	ESTADO_ESTACION1_SCADA	Short	100
 M_SCADA	M_SCADA	Boolean	100
 PE_SCADA	PE_SCADA	Boolean	100
 R_SCADA	R_SCADA	Boolean	100

Figura 2.14 Implementació del servidor OPC DA associat a l'estació I.







Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate
 AM_SCADA	AM_SCADA	Boolean	100
 Control_SCADA	CONTROL_SCADA	Boolean	100
 Estado_Estacion2_SCADA	ESTADO_ESTACION2_SCADA	Short	100
 M_SCADA	M_SCADA	Boolean	100
 PE_SCADA	PE_SCADA	Boolean	100
 R_SCADA	R_SCADA	Boolean	100

Figura 2.15 Implementació del servidor OPC DA associat a l'estació II.











Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate
 AM_SCADA	AM_SCADA	Boolean	100
 Control_SCADA	CONTROL_SCADA	Boolean	100
 Estado_Estacion3_SCADA	ESTADO_ESTACION3_SCADA	Short	100
 M_SCADA	M_SCADA	Boolean	100
 PE_SCADA	PE_SCADA	Boolean	100
 Piezas_Buenas_SCADA	PIEZAS_BUENAS_SCADA	Short	100
 Piezas_Malas_SCADA	PIEZAS_MALAS_SCADA	Short	100
 R_SCADA	R_SCADA	Boolean	100
 Tiempo_Marcha_SCADA	TIEMPO_MARCHA_SCADA	Long	100
 Tiempo_Paro_SCADA	TIEMPO_PARO_SCADA	Long	100

Figura 2.16 Implementació del servidor OPC DA associat a l'estació III.

Adicionalment, en cadascuna de les configuracions dels servidors i canals de comunicacions dels ordinadors, per tant en els seus arxius de treball del programa, està implementat un client OPC UA que permet accedir als *tags* del servidor central OPC UA.

Els resums de les configuracions dels clients OPC UA, realitzades en el programa KEPServerEX, que permeten als servidors OPC DA accedir als *tags* del servidor central OPC UA, es mostren en les Figures 2.17, 2.18 i 2.19.

Identification	
Name	Client1
Description	
Driver	OPC UA Client
Model	OPC UA
Channel Assignment	ChannelOPC1
Operating Mode	
Data Collection	Enable
Simulated	No

Figura 2.17 Resum de la configuració del client OPC UA associat a l'estació I.

Identification	
Name	Client2
Description	
Driver	OPC UA Client
Model	OPC UA
Channel Assignment	ChannelOPC2
Operating Mode	
Data Collection	Enable
Simulated	No

Figura 2.18 Resum de la configuració del client OPC UA associat a l'estació II.

Identification	
Name	Client3
Description	
Driver	OPC UA Client
Model	OPC UA
Channel Assignment	ChannelOPC3
Operating Mode	
Data Collection	Enable
Simulated	No

Figura 2.19 Resum de la configuració del client OPC UA associat a l'estació III.

En la Figura 2.20 es mostra la implementació, comuna pels 3 arxius de configuració i realitzada en el programa KEPServerEX, de cadascun dels clients OPC UA, on s'observen els tags implementats i els seus paràmetres de configuració resumits.













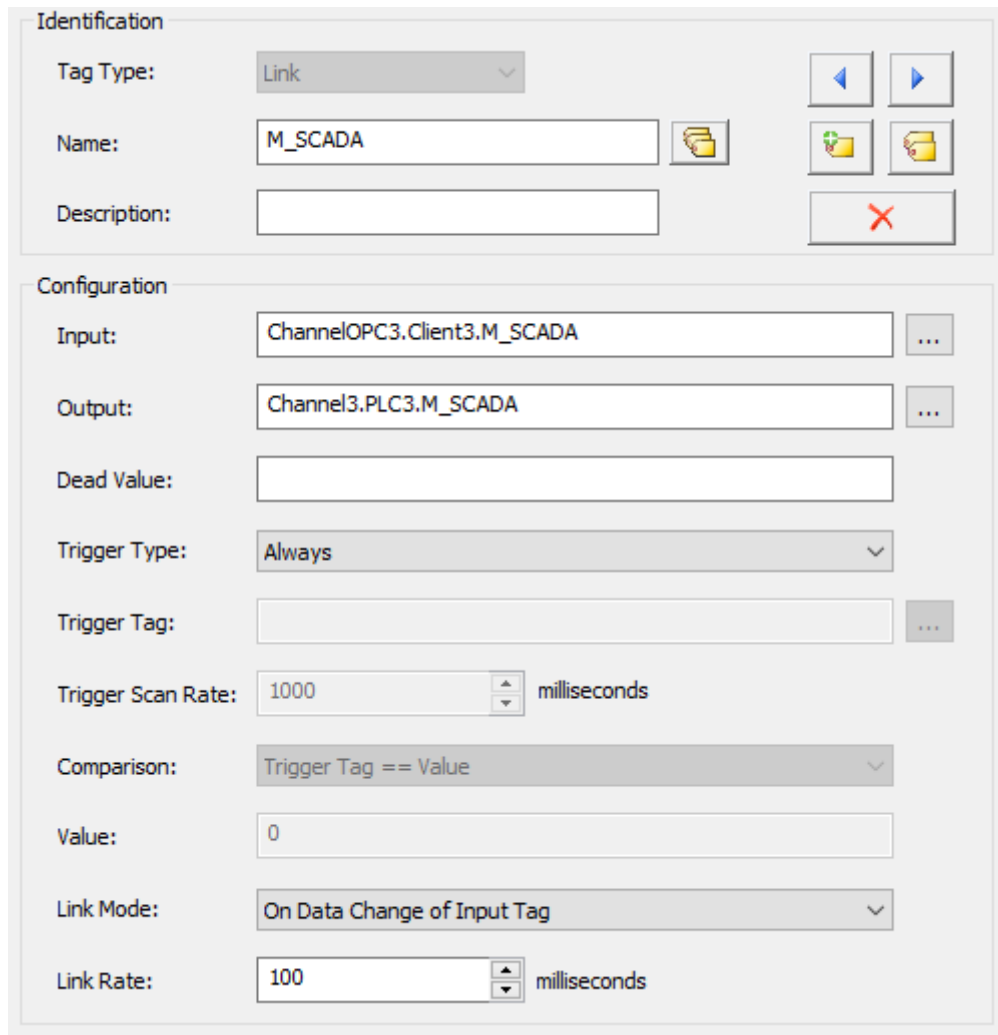
Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate
 AM_SCADA	ns=2;i=1	Boolean	100
 Control_SCADA	ns=2;i=2	Boolean	100
 Estado_Estacion1_SCADA	ns=2;i=3	Short	100
 Estado_Estacion2_SCADA	ns=2;i=4	Short	100
 Estado_Estacion3_SCADA	ns=2;i=5	Short	100
 M_SCADA	ns=2;i=6	Boolean	100
 PE_SCADA	ns=2;i=7	Boolean	100
 Piezas_Buenas_SCADA	ns=2;i=8	Short	100
 Piezas_Malas_SCADA	ns=2;i=9	Short	100
 R_SCADA	ns=2;i=10	Boolean	100
 Tiempo_Marcha_SCADA	ns=2;i=11	Long	100
 Tiempo_Paro_SCADA	ns=2;i=12	Long	100

Figura 2.20 Implementació dels clients OPC UA.

Per tal d'interrelacionar el tags de cadascun dels servidors OPC DA amb els del servidor central OPC UA, mitjançant els clients OPC UA, s'han utilitzat uns tipus avançats de tags del KepServerEX que actuen com a links entre els tags d'ambdues parts. Aquests són referits en el programa com *Advanced Tags: Links*(13). En la configuració d'aquests tags cal especificar quin tag actualitzarà el seu valor i quin tag aportarà el valor d'aquesta actualització, permetent l'ús de tags de diferents canals de comunicacions. En concret, tots els servidors OPC DA envien o reben tots els seus tags, mitjançant aquests links, al servidor OPC UA. Els tags compartits entre els servidors OPC DA, que són els que l'SCADA envia per controlar les estacions de treball, són enviats des del servidor OPC UA cap aquests servidors i els que aporten informació sobre les estacions i el seu rendiment són enviats des d'aquests servidors cap al servidor central OPC UA.

En la Figura 2.21 es mostra la configuració d'un dels links realitzats. En concret, es tracta del link que relaciona el tag M_SCADA del servidor OPC UA, que utilitza l'SCADA com si fos el botó de marxa de les estacions, amb el tag M_SCADA del servidor OPC DA del PLC3. En la configuració es detalla que s'ha d'actualitzar el valor del servidor OPC DA amb el valor del servidor OPC UA, quan aquest últim canvia de valor.



The screenshot shows a configuration window for a 'Link' tag. It is divided into two main sections: 'Identification' and 'Configuration'.

Identification Section:

- Tag Type:** A dropdown menu set to 'Link'.
- Name:** A text field containing 'M_SCADA'.
- Description:** An empty text field.
- Navigation buttons: Previous, Next, Add, Remove, and Cancel (red X).

Configuration Section:

- Input:** A text field containing 'ChannelOPC3.Client3.M_SCADA'.
- Output:** A text field containing 'Channel3.PLC3.M_SCADA'.
- Dead Value:** An empty text field.
- Trigger Type:** A dropdown menu set to 'Always'.
- Trigger Tag:** An empty text field.
- Trigger Scan Rate:** A numeric field set to '1000' with a unit dropdown set to 'milliseconds'.
- Comparison:** A dropdown menu set to 'Trigger Tag == Value'.
- Value:** A numeric field set to '0'.
- Link Mode:** A dropdown menu set to 'On Data Change of Input Tag'.
- Link Rate:** A numeric field set to '100' with a unit dropdown set to 'milliseconds'.

Figura 2.21 Configuració del link d'un tag entre el servidor OPC UA i un servidor OPC DA.

Per accedir al servidor central des dels clients OPC UA dels servidors i de l'SCADA, cal utilitzar la direcció TCP/IP del servidor. Aquesta està formada, a més d'uns identificadors del tipus de connexió, per la direcció IP local de l'ordinador que allotja el servidor i el port configurat per accedir al servidor. En concret, degut a que es va utilitzar l'ordinador associat al tercer PLC per allotjar el servidor central, la direcció TCP/IP del servidor OPC UA és `opc.tcp://192.168.250.103:49320`.

Degut a això, un dels paràmetres de la configuració dels clients OPC UA, que es la direcció de connexió del servidor OPC UA, és `opc.tcp:// 192.168.250.103:49320`, com es pot veure en la Figura 2.22.

Endpoint	
Endpoint URL	opc.tcp://192.168.250.103:49320
Security Policy	None
Message Mode	None

Figura 2.22 Configuració de la direcció del servidor OPC UA dels clients OPC UA.

El servidor central OPC UA s'ha creat i configurat dins del programa KEPServerEX de l'estació III. En la seva configuració s'han establert paràmetres com la direcció de connexió TCP/IP o la seguretat d'accés al servidor. En la Figura 2.23 es pot veure la configuració de la connexió i de la seguretat del servidor central OPC UA.

The screenshot shows a configuration window for OPC UA. The 'TCP Connection' section has a 'Network Adapter' dropdown set to 'Realtek RTL8723BE 802.11 bgn Wi-Fi Adapter' and a 'Port Number' spinner set to '49320'. Below these, the URL 'opc.tcp://192.168.250.103:49320' is displayed. The 'Security Policies' section has three options: 'None' (checked), 'Basic128Rsa15' (unchecked), and 'Basic256' (unchecked). Each of the latter two has a 'Sign' dropdown menu.

Figura 2.23 Configuració de la direcció del servidor OPC UA dels clients OPC UA.

2.3.3 BLOC DE SUPERVISIÓ

Aquest bloc està format per un SCADA per dispositius mòbils capaç de controlar i supervisar el funcionament de les estacions de treball del sistema integrat de producció.

Per desenvolupar el sistema SCADA per dispositius mòbils Android s'ha utilitzat el programa TeslaSCADA2(14). Aquest programa de desenvolupament permet crear SCADAs per dispositius mòbils que es connectin amb un servidor OPC UA. Entre altres característiques útils pel desenvolupament del sistema dissenyat, permet realitzar el càlcul de l'OEE del sistema, ja que es poden programar codis que s'executen en segon pla i de forma periòdica.

Per tal de configurar la connexió amb el servidor central OPC UA, es va indicar la direcció TCP/IP del servidor (opc.tcp:// 192.168.250.103:49320) i altres paràmetres de connexió del servidor. En la Figura 2.24 es mostra la configuració del client OPC UA de l'SCADA.

Name:	OPCUAServer
URI:	opc.tcp://192.168.250.103:49320
Poll interval:	100
Security mode:	None
Policy:	None

Figura 2.24 Configuració del client OPC UA de l'SCADA.

Un cop configurada la connexió amb el servidor central, es van configurar tots els *tags* que utilitzarà l'SCADA. Per fer-ho, es van buscar i seleccionar tots els *tags* del servidor OPC UA, mitjançant un descobridor de *tags* inclòs en el programa. Al seleccionar-los, ja es configuraven les característiques de cada *tag*. En la Figura 2.25 es mostra la implementació de la llista de *tags* de l'SCADA i el seu valor inicial.

Name	Value	+
AM_SCADA	false	
Control_SCADA	false	
Estado_Estacion1_SCADA	0	
Estado_Estacion2_SCADA	0	
Estado_Estacion3_SCADA	0	
M_SCADA	false	
PE_SCADA	false	
Piezas_Buenas_SCADA	0	
Piezas_Malas_SCADA	0	
R_SCADA	false	
Tiempo_Marcha_SCADA	0	
Tiempo_Paro_SCADA	0	

Figura 2.25 Implementació dels *tags* de l'SCADA.

A continuació, es va procedir a desenvolupar l'HMI de l'SCADA. En la Figura 2.26 es mostra el disseny realitzat de l'HMI del sistema SCADA per dispositius mòbils.

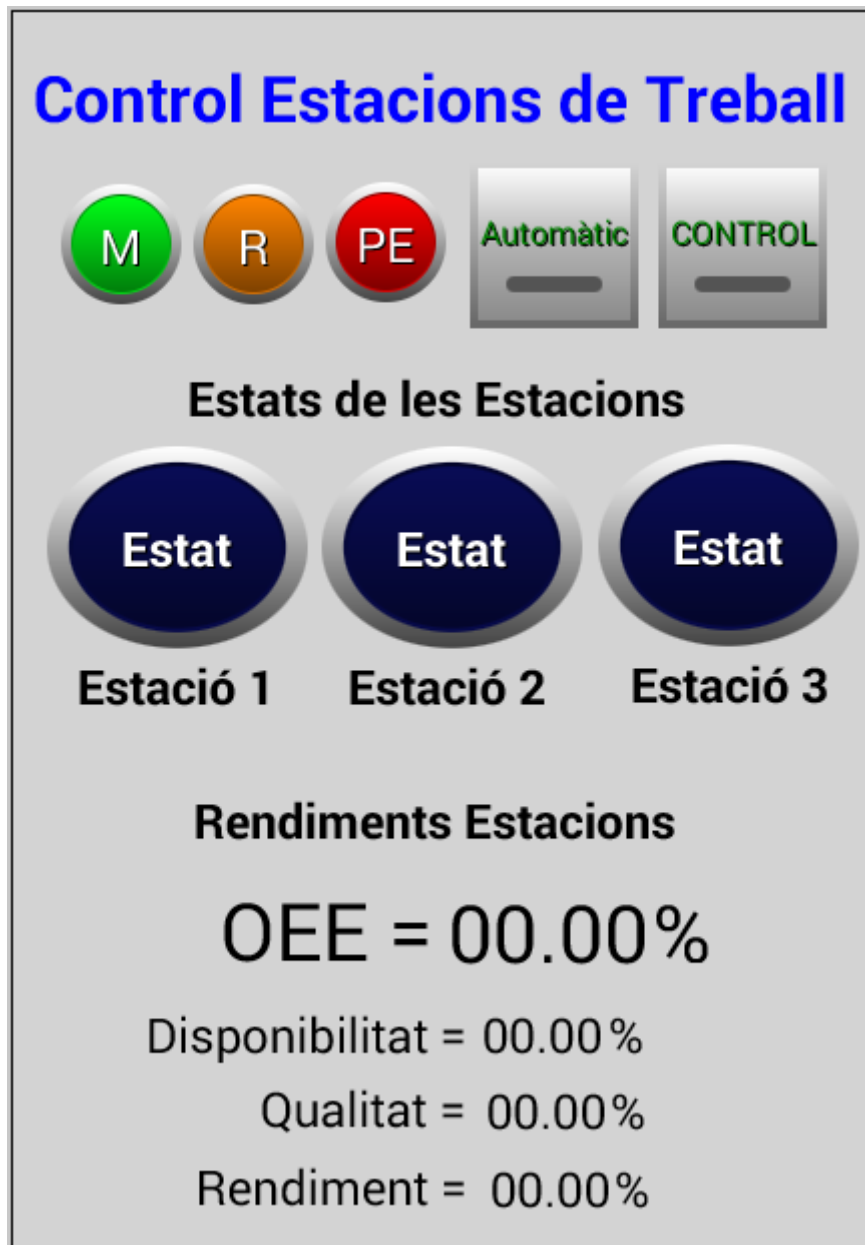


Figura 2.26 Disseny de l'HMI del sistema SCADA.

Com es pot observar en la Figura 2.26, la pantalla està dividida en 3 parts:

- **Control de les estacions:** Formada pels botons de Marxa, Reset i Parada d'Emergència i pels selectors de control Automàtic i de CONTROL per part de l'SCADA. Els 3 primers

(M, R i PE) controlen directament el funcionament de les 3 estacions alhora, tal i com si es posessin els botons de les botoneres de les estacions de treball. Aquest control conjunt es realitza perquè el sistema així ho permet i també degut a la limitació en el número de *tags* que presenta el programa en versió de proves. El selector d'Automàtic, equivalent als selectores Automàtic / Manual en les botoneres, permet seleccionar si es vol una execució pas a pas de les seqüències de les 3 estacions de treball durant el mode RUN. El selector CONTROL permet triar si es vol que les estacions atenguin el valor del selector Automàtic de l'SCADA o el selector Automàtic / Manual de les seves botoneres. Aquest últim selector de CONTROL és necessari per evitar conflictes entre els dos anteriors, ja que els selectores de la botonera estan sempre connectats, ja sigui en una posició o una altra, i podrien entrar en conflicte amb el de l'SCADA.

- **Estats de les estacions:** Formada per 3 indicadors que mostren l'estat de cadascuna de les estacions de treball. Els estats de les estacions són obtinguts a partir de descodificar els valors enviats pels PLCs.
- **Rendiment de les estacions:** Formada per 4 valors percentuals que indiquen el rendiment global del sistema i desglossat en les 3 parts que ho conformen. En concret, s'indica l'OEE, la disponibilitat, la qualitat i el rendiment del sistema de producció.

Un cop realitzat l'HMI, es van associar els *tags* del servidor central als diferents components de l'HMI. En concret, es va triar per cada element quin havia de ser el seu comportament. En els botons bàsics està assignada la funció *Push*, que posa el valor del *tag* associat a 0 quan no estan pulsats i a 1 quan estan pulsats. En el botó enclavat PE i en els selectores està assignada la funció *Toggle*, que canvia el valor del *tag* associat, de 0 a 1 i de 1 a 0. En els indicadors d'estats de les estacions està assignada una funció que converteix els valors dels *tags* associats del 0 al 4 en text, que indica l'estat de cada estació, en funció d'uns rangs de conversió definits. Els valors del rendiment de les estacions són textos que s'actualitzen amb un codi, per lo que no tenen assignats cap *tag* ni funció.

En la Figura 2.27 es mostra la configuració del comportament d'un dels components de l'SCADA. En concret, es mostra la configuració d'un dels botons bàsics (M), on s'indica el *tag* associat i la funcionalitat desitjada.

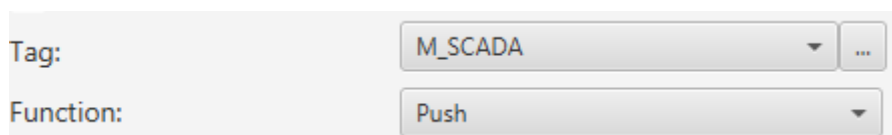


Figura 2.27 Configuració del comportament d'un dels components de l'SCADA.

En la part del rendiment de les estacions és mostra un tipus de KPI. Els KPIs són indicadors crítics sobre el progrés d'arribar a un resultat previst. Són útils per prendre millors decisions sobre quin aspecte d'un sistema o procés aportaria un augment més considerable, sobre el rendiment global, si aquest aspecte es millorés(15).

El KPI concret que s'ha calculat i es mostra en l'SCADA és l'OEE. L'OEE és el KPI més utilitzat per mesurar la productivitat d'un sistema de fabricació. Serveix per identificar el percentatge del temps de fabricació en que realment s'està produint(16). L'OEE està format per 3 factors:

- **Disponibilitat:** Té en consideració tots els esdeveniments que aturen la producció planificada. Aquest factor és la relació del temps en funcionament entre el temps planificat total de producció.
- **Qualitat:** Té en consideració la qualitat de la producció realitzada. Aquest factor és la relació de la quantitat de producció bona entre la quantitat total de producció.
- **Rendiment:** Té en consideració qualsevol causa que alenteixi el ritme de producció. Aquest factor és la quantitat total de producció multiplicat pel temps mitjà (en condicions òptimes de funcionament) que es tarda en produir cada unitat, entre el temps planificat total de producció.

El valor de l'OEE s'obté de multiplicar la disponibilitat per la qualitat i pel rendiment del sistema(17).

En concret, s'han utilitzat les següents fórmules pel càlcul de l'OEE i dels seus factors:

$$Disponibilitat = \frac{Temps_{Marxa}}{Temps_{Total}} = \frac{Temps_{Marxa}}{Temps_{Marxa} + Temps_{Parada}}$$

$$Qualitat = \frac{Peces_{Bones}}{Peces_{Totals}} = \frac{Peces_{Bones}}{Peces_{Bones} + Peces_{Dolentes}}$$

$$Rendiment = \frac{Peces_{Totals} * Temps_{ProcessamentMitjàPeces}}{Temps_{Total}} = \frac{(Peces_{Bones} + Peces_{Dolentes}) * 22s}{Temps_{Marxa} + Temps_{Parada}}$$

$$OEE = Disponibilitat * Qualitat * Rendiment$$

Les dades de peces bones i dolentes provenen de l'estació III, ja que aquesta s'encarrega de realitzar el control de qualitat sobre les peces. A més, també aporta els temps en marxa i parada, ja que com és l'última estació del sistema productiu, si alguna de les estacions anteriors es troba parada i per tant, no es subministren peces a l'estació III, aquesta comptabilitzarà el temps d'espera de peça com de parada i afectaria al càlcul de l'OEE. Com que s'utilitzen els temps i la quantitat de producció de l'estació III, es necessari utilitzar el seu temps mitjà de processament de peces en règim permanent, de 22 segons, pel càlcul del rendiment del sistema.

El programa TeslaSCADA2 permet la programació de codis que interactuïn amb els *tags* dels servidors configurats i també amb els elements de l'HMI. S'ha generat un codi pel càlcul de l'OEE, que addicionalment modifica la propietat del text dels objectes que indiquen l'OEE i els seus factors, per a que indiquin el valor calculat en funció del *tags* del servidor OPC UA. En la Figura 2.28 es pot observar el codi del càlcul de l'OEE i dels seus factors.

```

1 double disponibilitat = 0.0;
2 double rendiment = 0.0;
3 double qualitat = 0.0;
4 double OEE = 0.0;
5
6 double temps_marxa = Tags.Tiempo_Marcha_SCADA;
7 double temps_parada = Tags.Tiempo_Paro_SCADA;
8 double peces_bones = Tags.Piezas_Buenas_SCADA;
9 double peces_dolentes = Tags.Piezas_Malas_SCADA;
10
11 disponibilitat = temps_marxa / (temps_marxa + temps_parada);
12 Objects.DisponibilitatTextField.text = doubletostring(disponibilitat * 100);
13
14 qualitat = peces_bones / (peces_bones + peces_dolentes);
15 Objects.QualitatTextField.text = doubletostring(qualitat * 100);
16
17 rendiment = (peces_bones + peces_dolentes) * 22 / (temps_marxa + temps_parada);
18 Objects.RendimentTextField.text = doubletostring(rendiment * 100);
19
20 OEE = disponibilitat * qualitat * rendiment;
21 Objects.OEETextField.text = doubletostring(OEE * 100);
  
```

Figura 2.28 Codi de TeslaSCAD2 pel càlcul de l'OEE i dels factors que el conformen.

Un cop finalitzada la creació i configuració de l'SCADA, es va procedir amb la instal·lació en el telèfon mòbil Android. Primerament, es va descarregar i instal·lar l'aplicació TeslaSCADA2 Runtime des del Google Play Store(18). Després es va enviar el projecte generat amb el TeslaSCADA2 al telèfon mòbil i es va moure a la carpeta on l'aplicació guarda els projectes. També es va canviar la configuració de l'aplicació TeslaSCADA2 Runtime del dispositiu mòbil, tal i com s'indica en la Figura 2.29.

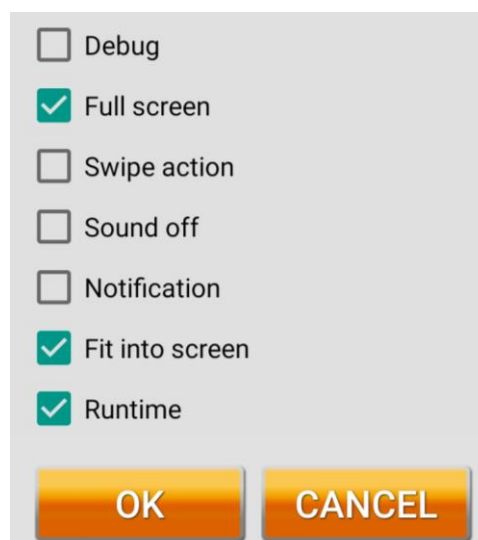


Figura 2.29 Configuració de l'aplicació TeslaSCADA2 Runtime.

Finalment, al obrir i executar el projecte en el telèfon mòbil, es mostra l'SCADA desenvolupat. En la Figura 2.30 es pot veure l'SCADA funcionant en el dispositiu mòbil.



Figura 2.30 SCADA funcionant en el dispositiu mòbil.

Pel control de les estacions de treball des de l'SCADA, els botons M i R actuen com a botons bàsics, s'activen quan estan polsat i es desactiven quan es solten, posant a 1 o 0 els valors dels seus *tags* respectivament. En canvi, el botó PE es queda enclavat quan es polsa, fent que la seva imatge parpellegi per indicar-ho, i posant el valor del seu *tag* a 1. Al tornar a polsar sobre aquest, es desencilava el botó i el valor del *tag* torna a ser 0. Els selectors indiquen que els valors dels seus *tags* estan en 1 quan els textos són verds. Per indicar que els seus *tags* estan en 0, els textos passen a ser vermells. A més, quan es polsa sobre dels selectors, alternen el valor dels seus respectius *tags*.

3 RESUM DE RESULTATS

3.1 RESUM DE PRESSUPOST

El cost total de desenvolupament del treball és de 5.794,20 €. En la Taula 3.1 es mostra desglossat el pressupost.

Taula 3.1 Pressupost de desenvolupament del treball.

Element	Quantitat	Cost unitari	Cost
Temps treballat	480 h	12 €/h	5.760 €
Estacions de treball	180 h	0,04 €/h	7,20 €
Portàtil HP 15-ba033ns	450 h	0,06 €/h	27 €
TOTAL			5.794,20 €

3.2 ANÀLISIS I VALORACIÓ DE LES IMPLICACIONS AMBIENTALS

L'impacte ambiental que té el sistema desenvolupat durant el seu funcionament és pràcticament nul. Tot i així, durant el manteniment de les estacions i equips utilitzats es generen residus, com són els components mecànics reemplaçats degut al seu desgast per l'ús. També es generen residus degut a la renovació dels components que han quedat obsolets.

Aquests residus generats es portaran a desballestar de forma que es garanteixi la reutilització de les peces per a altres finalitats. D'aquesta forma es minimitzarà l'impacte ambiental del sistema desenvolupat i s'apostarà per la reutilització i reciclatge del material que ja no es pugui aprofitar.

3.3 PROVES I RESULTATS

Durant la realització del treball s'han anat realitzant proves per comprovar el correcte funcionament de cadascuna de les tasques realitzades i per obtenir dades essencials sobre el comportament del sistema.

La primera prova realitzada va consistir en comprovar el correcte funcionament de les estacions de treball, programades amb els algorismes de control que permetien el seu funcionament autònom. Es va observar si les estacions seguien les seqüències de funcionament desitjades i no es produïa cap conflicte durant la realització de parades d'emergència i resets en diferents moments de les seqüències.

El resultat d'aquesta primera prova va ser satisfactori, ja que les estacions funcionaven tal i com es volia i no presentaven conflictes mecànics o de seqüència al produir-se parades d'emergència en diferents moments de la seqüència, ni tampoc al realitzar les posteriors seqüències de reset.

Després de la creació i configuració del sistema de comunicacions i de l'adaptació de la programació dels algorismes de control de les estacions de treball per permetre el control remot i l'enviament de dades, es va realitzar una prova per comprovar el funcionament de l'enviament, per part de les estacions de treball, de dades sobre el rendiment i l'estat del sistema. Aquesta prova va consistir en observar els valors del *tags* dels servidors OPC DA, mentre s'utilitzava el programa de programació dels PLCs (Sysmac Studio) per monitoritzar l'etapa actual de la seqüència i els valors de les variables que guarden les dades que s'envien als servidors. A més, es comprovava la coherència dels valors d'aquestes variables sobre el rendiment del sistema.

El resultat d'aquesta prova va ser satisfactori, ja que les variables sobre el rendiment del sistema reflectien amb exactitud la realitat observada, els valors dels *tags* dels servidors OPC DA s'actualitzaven amb els enviats per les estacions de treball i aquests valors s'actualitzaven en els moments adequats de les seqüències d'execució de les estacions de treball.

Després de la prova anterior es va realitzar una prova consistent en modificar manualment els *tags*, dels servidors OPC DA, de control de les estacions de treball, per tal de comprovar el correcte funcionament del control remot de les estacions. En concret, es va utilitzar, per cada estació, un client OPC incorporat en el Sysmac Studio (OPC *Quick Client*), que permetia la modificació dels *tags* dels servidors.

El resultat d'aquesta prova va ser satisfactori, ja que les estacions atenien a les ordres provinents dels servidors, sense deixar d'atendre a les ordres de les seves botoneres. A més, les ordres dels servidors i de les botoneres no entraven en conflicte, ja que s'escollia el valor a considerar de l'únic component que podria generar un conflicte (el selector Automàtic / Manual) en funció d'un *tag* de control del servidor.

Posteriorment a la prova anterior, també es va provar el correcte funcionament de les estacions de treball, que havien estat modificades per enviar dades als servidors i ser controlades remotament, si els servidors fallessin. Per fer-ho, es van desconnectar els servidors OPC DA i es va provar el funcionament de les estacions en aquest cas.

El resultat d'aquesta prova va ser satisfactori, ja que les estacions continuaven funcionant amb normalitat degut als valors inicials de les variables associades al control remot de les estacions.

Després de la prova anterior, es va realitzar una prova per determinar els temps mitjans de processament de peces de les 3 estacions de treball. Amb aquesta prova es van voler avaluar aquests temps mitjans considerant les diferents situacions possibles i les seves probabilitats. En concret, l'única estació que modifica la seva seqüència de funcionament en mode RUN en funció

de diferents situacions, és l'estació III. Aquesta estació presenta uns temps de processament de peces diferents en funció de les característiques de les peces que li arriben. Poden arribar-li peces amb el forat en la cara esperada, en la cara contrària o sense forat. Com que es poc probable que li arribin peces amb el forat en la cara contrària o sense forat, la prova per mesurar el temps mitjà de l'estació III va consistir en mesurar els temps de 10 peces, 8 de les quals tenien el forat en la cara esperada, 1 en la cara contrària i 1 no tenia forat en cap de les cares. En el cas de les altres dos estacions, també es va mesurar en cada estació el temps de processament de 10 peces, tot i que aquestes no presentaven modificacions. Un cop obtinguts els temps, es van realitzar les mitjanes aritmètiques d'aquests temps de processament per cadascuna de les estacions. En la Taula 3.2 es mostren els temps mitjans de processament de peces de les 3 estacions de treball obtinguts en aquesta prova.

Taula 3.2 Temps mitjans de processament de peces de les estacions de treball.

Estació	Temps mitjà de processament de peces
Estació I	15 s
Estació II	9 s
Estació III	22 s

Després de la instal·lació del sistema SCADA en el dispositiu mòbil, es va realitzar una prova per determinar el correcte funcionament d'aquest per mostrar les dades pertinents, per actualitzar els tags de control de les estacions al utilitzar els botons i selectors i per realitzar el càlcul de l'OEE. Per fer-ho es va aïllar el sistema SCADA del servidor OPC UA i es van configurar els tags per a que fossin locals, establint els seus valors per simular diferents situacions del sistema productiu.

El resultat d'aquesta prova va ser satisfactori, ja que l'SCADA mostrava correctament els estats de les estacions en funció dels valors dels tags corresponents, actualitzava els valors dels tags de control de les estacions de la forma esperada al utilitzar els botons i selectors i calculava adequadament l'OEE i els seus factors en funció dels valors dels tags associats al rendiment del sistema productiu.

3.4 CONCLUSIONS I RECOMANACIONS DE CONTINUACIÓ DEL TREBALL

3.4.1 CONCLUSIONS

En vista dels resultats obtinguts en el treball, s'ha aconseguit complir amb tots els objectius proposats a l'inici del treball. S'ha dissenyat un sistema que permet l'intercanvi d'informació entre els diferents dispositius del sistema. A més, s'han realitzat uns algorismes de control funcionals

de les estacions de treball del sistema integrat de producció. També s'ha aconseguit desenvolupar un sistema SCADA per a dispositius mòbils, que permet el control de la línia de producció. Tot això utilitzant OPC UA, una tecnologia innovadora dins de l'àmbit de l'automatització industrial, podent així apreciar el potencial que presenta per a la realització de sistemes remots de supervisió i control de processos productius.

És important destacar la utilitat que presenta la tecnologia OPC UA. Aquesta nova variant de la tecnologia OPC presenta l'avantatge de ser un protocol de comunicacions obert, per lo que permet la connexió d'aparells amb diferents sistemes operatius o fins i tot a través d'internet, gràcies a la forma estandaritzada de guardar i enviar la informació. A més, incorpora totes les característiques presents en les anterior versions de l'OPC. Per tot això i degut a l'important creixement de l'Indústria 4.0 i l'IIOT (*Industrial Internet of Things*), en molt poc temps es tornarà, sens dubte, en una de les tecnologies de l'àmbit de les comunicacions industrial més utilitzades.

3.4.2 RECOMANACIONS DE CONTINUACIÓ DEL TREBALL

El treball realitzat es podria continuar treballant en diversos aspectes. Un d'aquests seria la utilització d'un servidor web per allotjar el servidor central OPC UA. Així, en comptes necessitar que el dispositiu mòbil estigués en la mateixa xarxa que el servidor, es podria connectar remotament des de qualsevol part del món.

Un altre aspecte relacionat amb l'anterior seria la utilització de les eines d'autenticació en l'accés i l'enciptació de les dades que presenta la tecnologia OPC UA. Per a la realització del treball no s'ha necessitat incorporar aquestes eines, degut a que el servidor era local, però si s'implementés la millora anterior, seria molt aconsellable utilitzar-les.

3.5 PLANIFICACIÓ I PROGRAMACIÓ DEL TREBALL FUTUR PROPOSAT

3.5.1 PLANIFICACIÓ

Per a la planificació del treball es va realitzar un diagrama de Gantt que va ser actualitzat durant la realització de les tasques. En la Taula 3.3 es mostren les tasques planificades amb les duracions i les dates d'inici i final d'aquestes.

Taula 3.3 Planificació de les tasques per l'elaboració del treball.

	Tasca	Data inici	Duració (dies)	Data final
A	Dissenyar l'arquitectura del sistema	16/09/2019	21	07/10/2019
B	Dissenyar els GRAFCETs de les seqüències de funcionament de les estacions de treball	07/10/2019	28	04/11/2019
C	Programar els algorismes de control de les estacions de treball	04/11/2019	56	30/12/2019
D	Dissenyar el sistema de comunicacions	30/12/2019	14	13/01/2020
E	Crear i configurar el sistema de comunicacions	13/01/2020	28	10/02/2020
F	Adaptar la programació dels algorismes de control de les estacions de treball per permetre el control remot i l'enviament de dades	10/02/2020	14	24/02/2020
G	Dissenyar el sistema SCADA	24/02/2020	14	09/03/2020
H	Desenvolupar i configurar el sistema SCADA	09/03/2020	21	30/03/2020
I	Instal·lar el sistema SCADA en el dispositiu mòbil	30/03/2020	7	06/04/2020
J	Elaborar la memòria del treball	06/04/2020	21	27/04/2020

El diagrama de Gantt de la planificació de les tasques del treball es pot veure en la Figura 3.1.

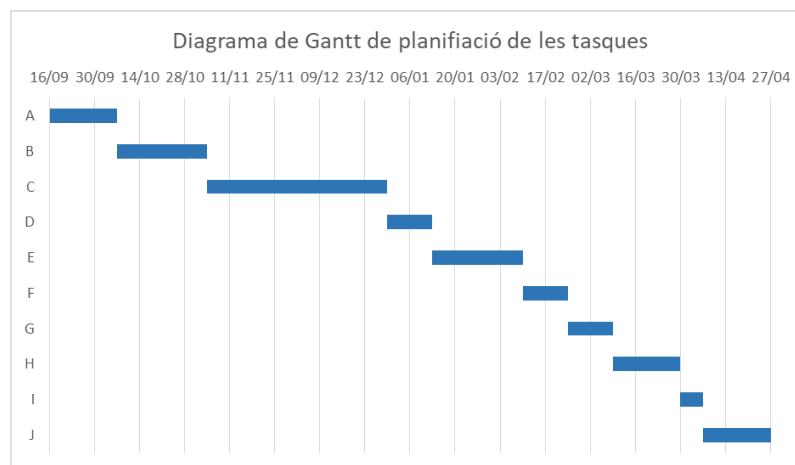


Figura 3.1 Diagrama de Gantt de la planificació de les tasques d'elaboració del treball.

3.5.2 PROGRAMACIÓ DEL TREBALL FUTUR PROPOSAT

Per tal de poder programar el treball futur proposat, s'han definit una sèrie de tasques que s'han de fer per realitzar la continuació del treball. S'ha establert una data d'inici concreta, l'1 de juny, tot i que pot ser modificada en el futur. En la Taula 3.4 es mostren les tasques planificades del treball futur proposat amb les duracions i les dates d'inici i final d'aquestes.

Taula 3.4 Planificació de les tasques per l'elaboració del treball futur proposat.

	Tasca	Data inici	Duració (dies)	Data final
A	Redissenyar l'arquitectura del sistema	01/06/2020	7	08/06/2020
B	Adaptar el sistema de comunicacions per allotjar el servidor central en un servidor web	08/06/2020	14	22/06/2020
C	Adaptar el sistema de comunicacions per encriptar la informació i autenticar l'accés	22/06/2020	14	06/07/2020
D	Adaptar el sistema SCADA per comunicar-se amb el servidor web	06/07/2020	7	13/07/2020
E	Reinstal·lar el sistema SCADA en un dispositiu mòbil	13/07/2020	7	20/07/2020

El diagrama de Gantt d'aquesta planificació del treball futur es pot veure en la Figura 3.2.

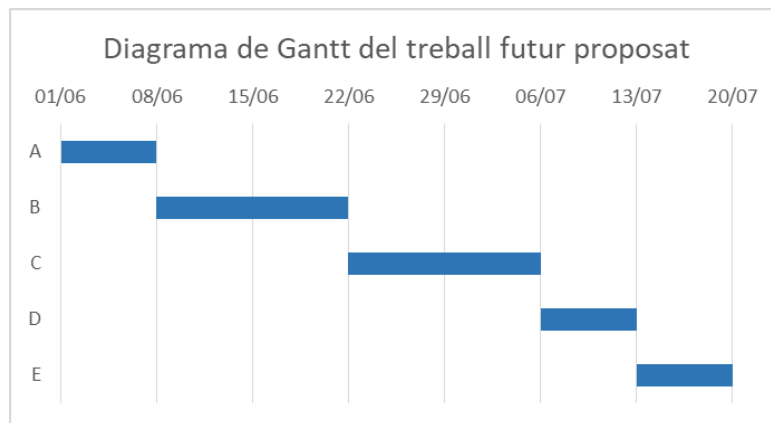


Figura 3.2 Diagrama de Gantt de la planificació del treball futur proposat.

3.6 RELACIÓ DE REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES I NORMATIVA APLICADA

3.6.1 BIBLIOGRAFIA

1. Gutiérrez, J.M. i Holgado, J.A. Mobile Human Machine Interface based in OPC UA for the control of industrial processes. A: [en línia]. [Consulta: 19 octubre 2019]. Disponible a: https://www.researchgate.net/publication/283796180_Mobile_Human_Machine_Interface_base_d_in_OPC_UA_for_the_control_of_industrial_processes.
2. Nicola, M. i Nicola, C.-I. SCADA Systems Architecture Based on OPC and Web Servers and Integration of Applications for Industrial Process Control. A: [en línia]. [Consulta: 17 octubre 2019]. Disponible a: https://www.researchgate.net/publication/331589512_SCADA_Systems_Architecture_Based_on_OPC_and_Web_Servers_and_Integration_of_Applications_for_Industrial_Process_Control.
3. OPC Foundation. OPC UA .NET! The official UA .NET Stack and Sample Applications from the OPC Foundation. A: [en línia]. [Consulta: 2 octubre 2019]. Disponible a: <http://opcfoundation.github.io/UA-.NETStandard/>.
4. Suppanel. Suppanel - Home. A: [en línia]. [Consulta: 7 novembre 2019]. Disponible a: <https://www.suppanel.com/index.php/en/>.
5. TeslaSCADA. Product TeslaSCADA2 - Multi-platform SCADA system. A: [en línia]. [Consulta: 23 novembre 2019]. Disponible a: <https://teslascada.com/products/teslascada2>.
6. Omron. NJ-Series CPU Unit Hardware User's Manual. A: [en línia]. [Consulta: 3 octubre 2019]. Disponible a: https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/w500_nj-series_cpu_unit_hardware_users_manual_en.pdf.
7. Omron. Sysmac Studio Software Version 1.18 Operation Manual. A: [en línia]. [Consulta: 3 octubre 2019]. Disponible a: http://products.omron.us/Asset/Sysmac_Studio_Ver1_18_OperationManual_en_201704_W504-E1-20.pdf.
8. OPC Foundation. What is OPC? A: [en línia]. [Consulta: 1 octubre 2019]. Disponible a: <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>.
9. OPC Foundation. OPC Classic. A: [en línia]. [Consulta: 1 octubre 2019]. Disponible a: <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-classic/>.
10. OPC Foundation. OPC Unified Architecture. A: [en línia]. [Consulta: 1 octubre 2019]. Disponible a: <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/>.
11. TechTarget. TCP (Transmission Control Protocol). A: [en línia]. [Consulta: 24 novembre 2019]. Disponible a: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/TCP>.
12. Kepware. KEPServerEX V6 User Manual. A: [en línia]. [Consulta: 3 desembre 2019]. Disponible a: <https://www.kepware.com/getattachment/5759d980-7641-42e8-b4fb-7293c835a2f9/kepserverex-manual.pdf>.

13. Kepware. Advanced Tags for KEPServerEX. A: [en línia]. [Consulta: 21 desembre 2019]. Disponible a: <https://www.kepware.com/getattachment/b86ce8da-9729-4d5b-9e74-5d1ddb1717f2/advanced-tags-easy-guide.pdf>.
14. TeslaSCADA. TeslaSCADA IDE User Manual. A: [en línia]. [Consulta: 27 desembre 2019]. Disponible a: https://teslascada.com/Downloads/TeslaSCADA_IDE_UserManual.pdf.
15. KPI.org. What is a Key Performance Indicator (KPI). A: [en línia]. [Consulta: 11 octubre 2019]. Disponible a: <https://kpi.org/KPI-Basics>.
16. Vorne. What Is OEE (Overall Equipment Effectiveness). A: [en línia]. [Consulta: 11 octubre 2019]. Disponible a: <https://www.oee.com/>.
17. Vorne. Calculate OEE – Definitions, Formulas, and Examples. A: [en línia]. [Consulta: 11 octubre 2019]. Disponible a: <https://www.oee.com/calculating-oee.html>.
18. TeslaSCADA. TeslaSCADA2 Runtime - Android App. A: [en línia]. [Consulta: 15 febrer 2020]. Disponible a: <https://play.google.com/store/apps/details?id=tesla.scada2.android&hl=es>.

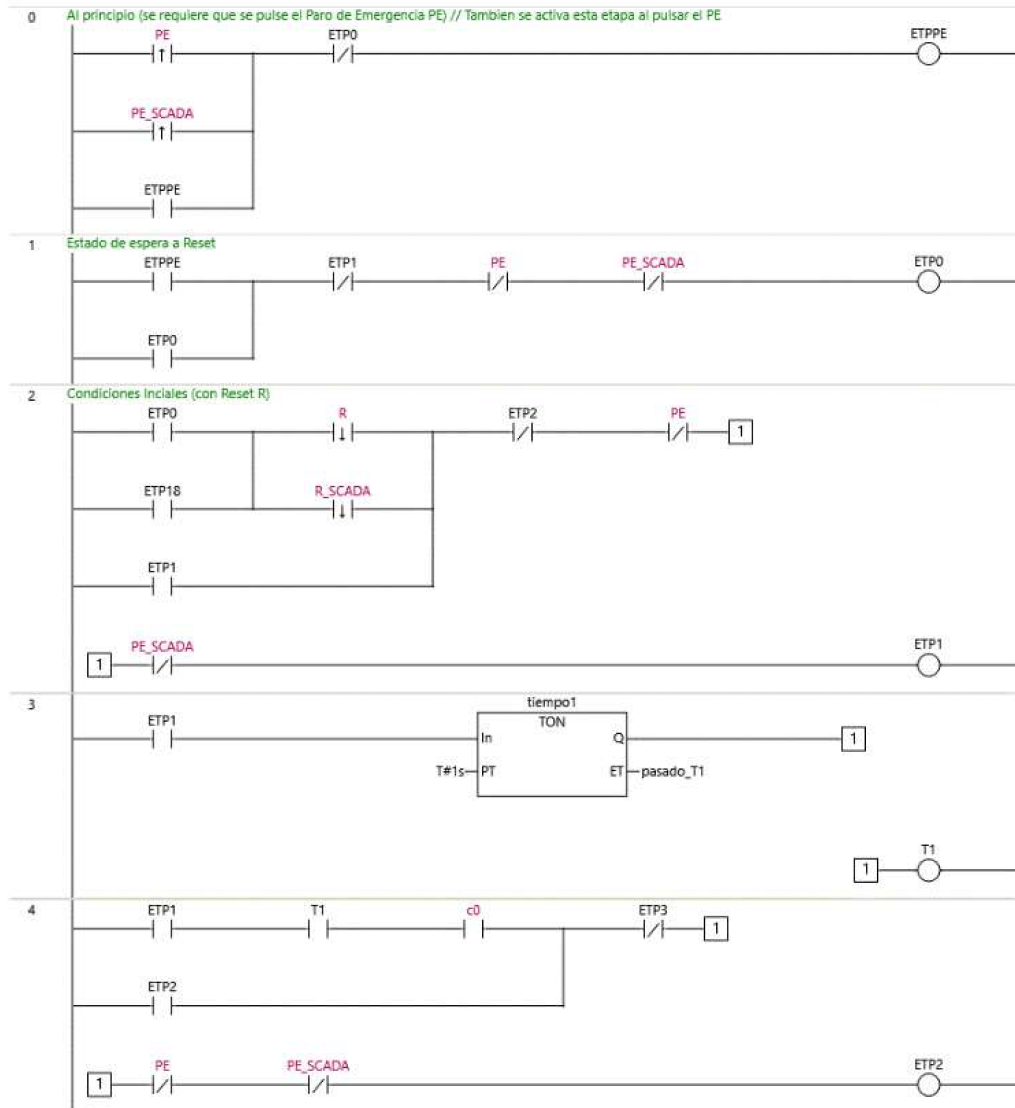
3.6.2 NORMATIVA APLICADA

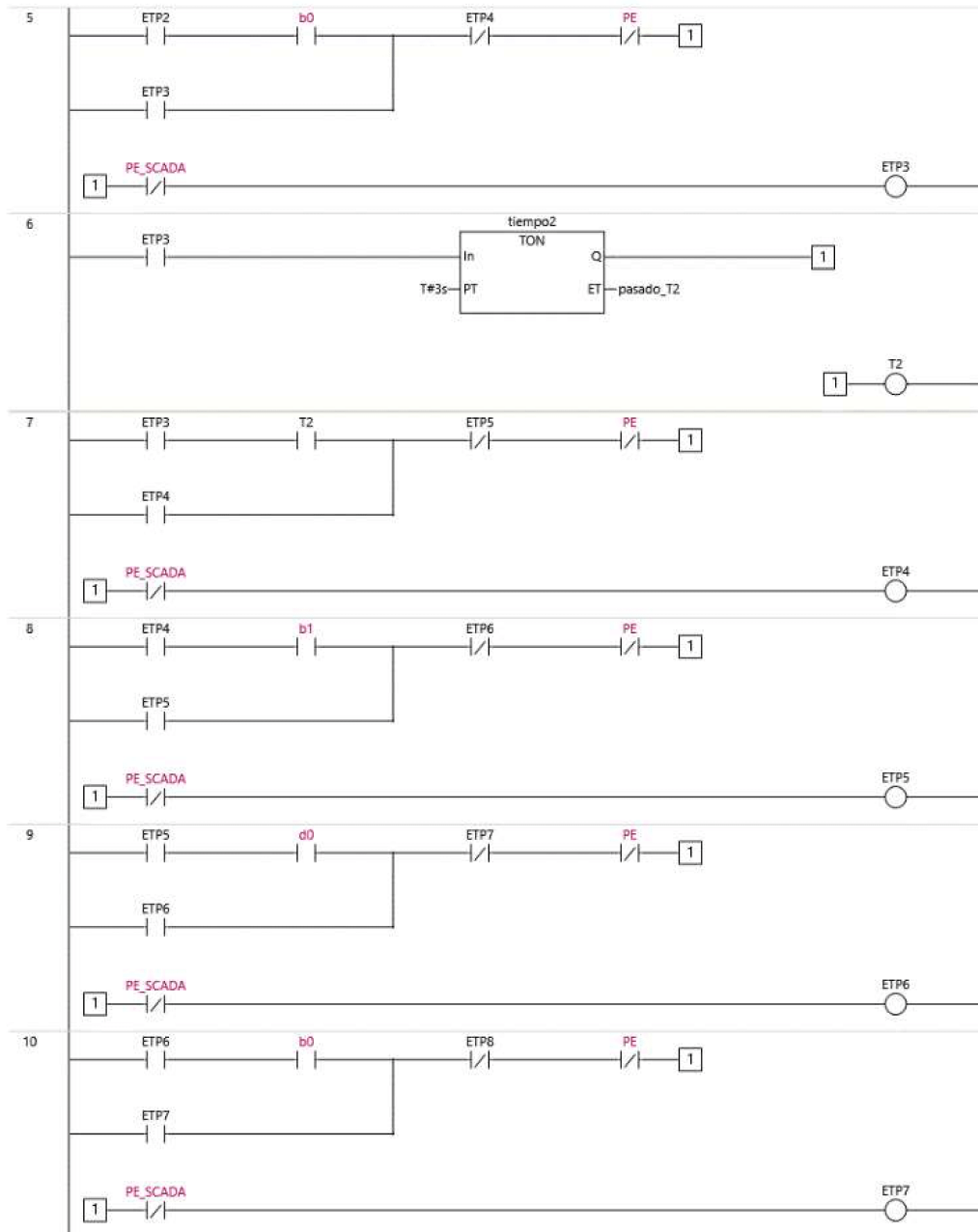
- IEC 61131:2020 – *Programmable controllers*.
- UNE-EN ISO 9241-110:2006 – *Ergonomía de interacción persona-sistema*.

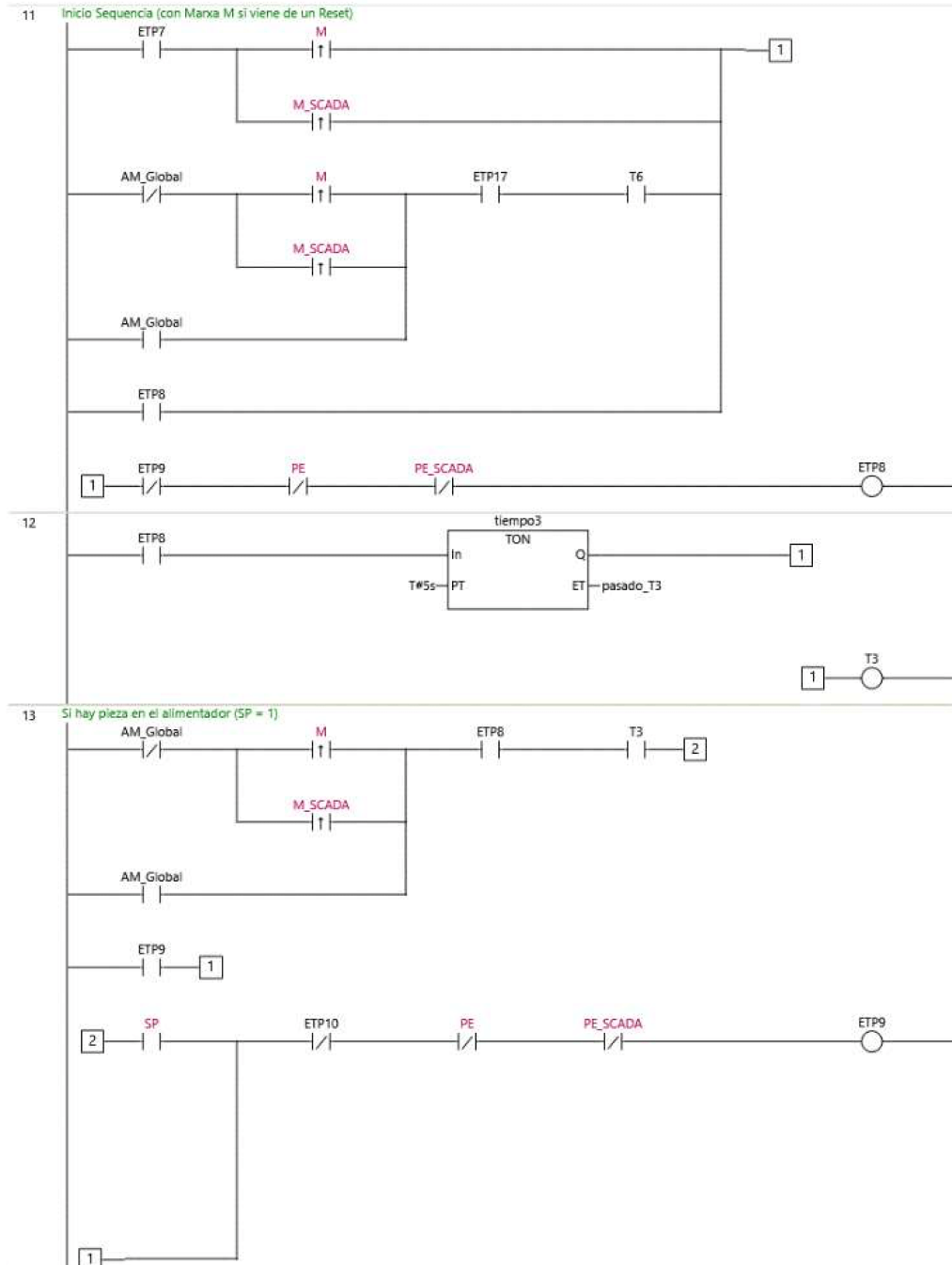
ANNEX A – CODIS DE PROGRAMACIÓ DELS PLCS

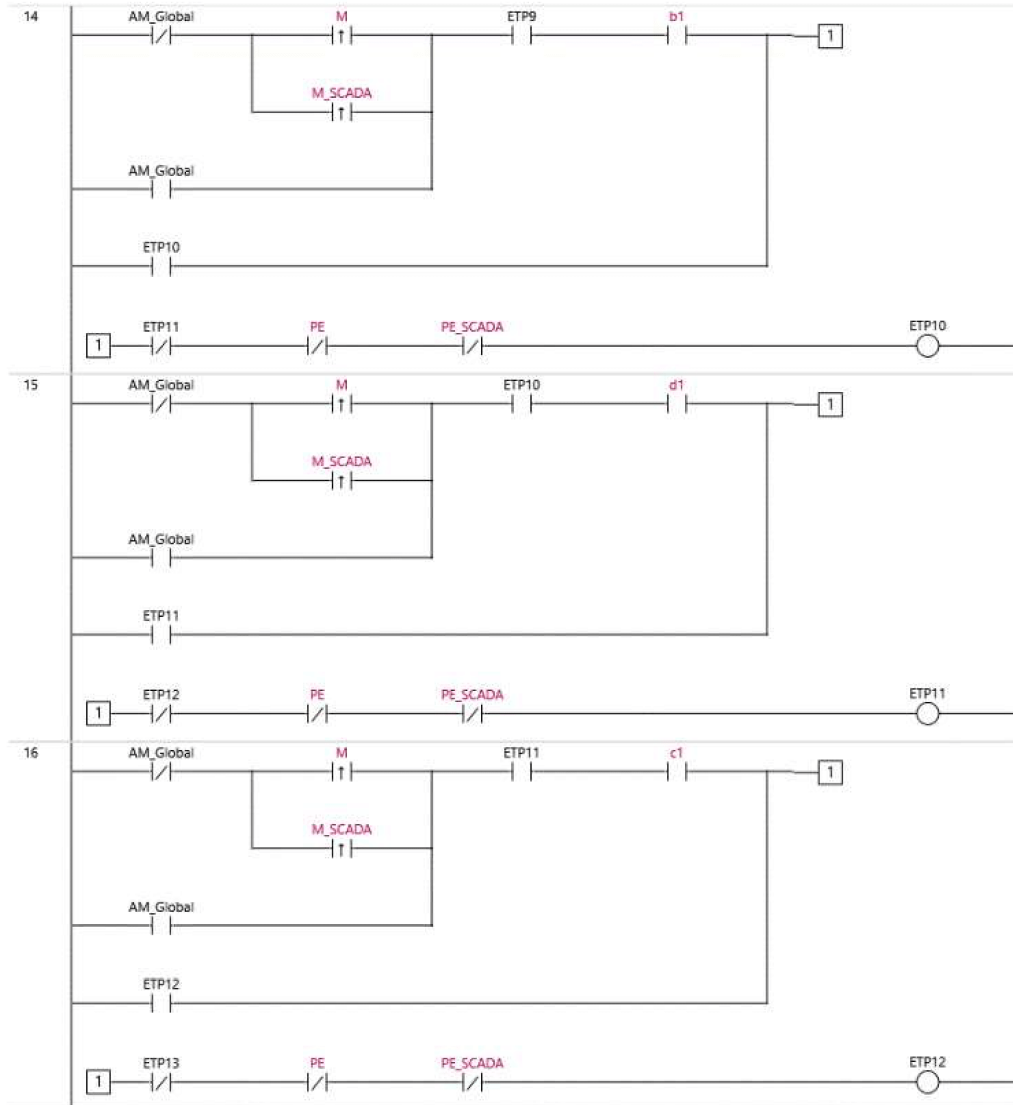
A.1 CODI DE PROGRAMACIÓ DEL PLC DE L'ESTACIÓ I

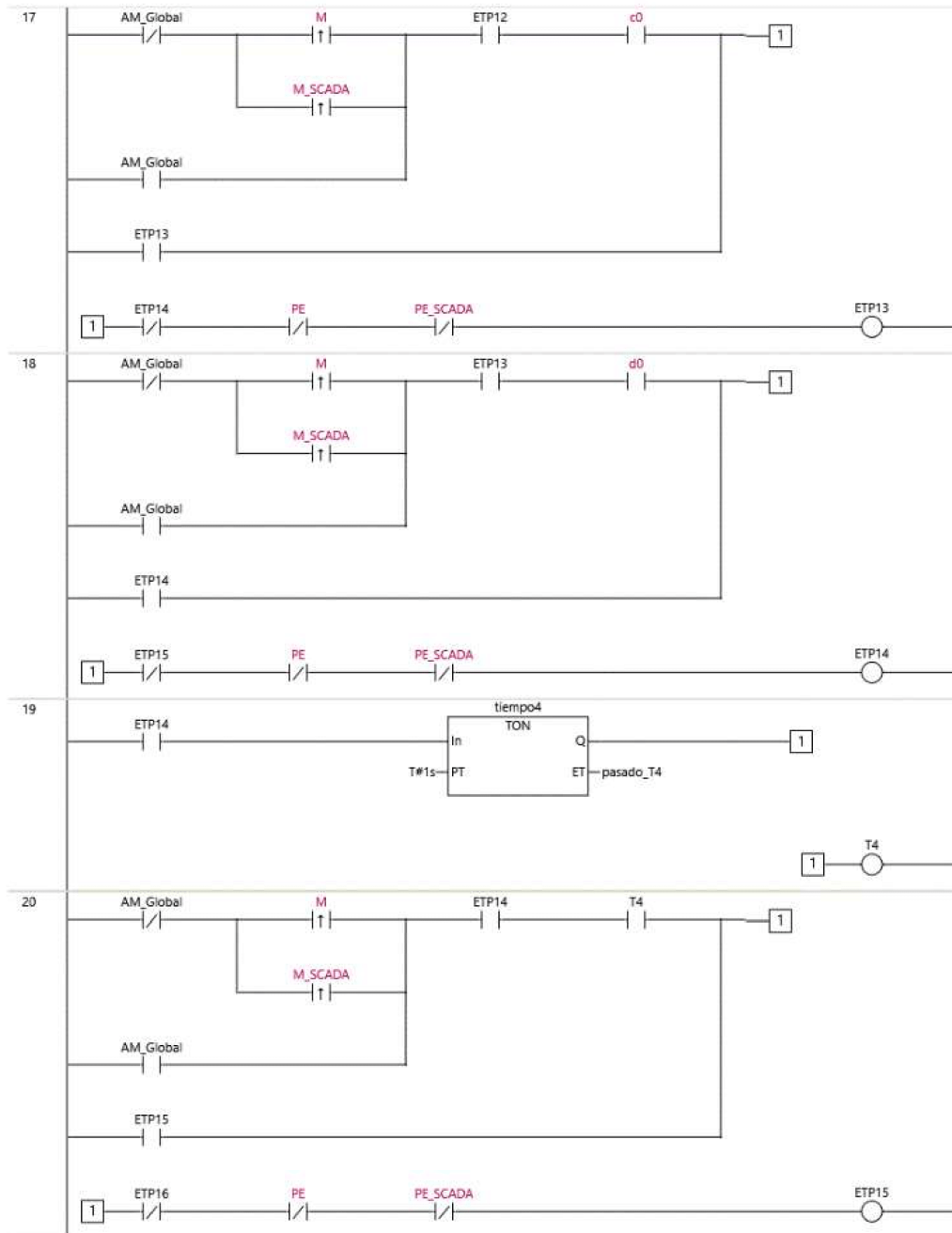
1-9-1-1-2.Secuencia

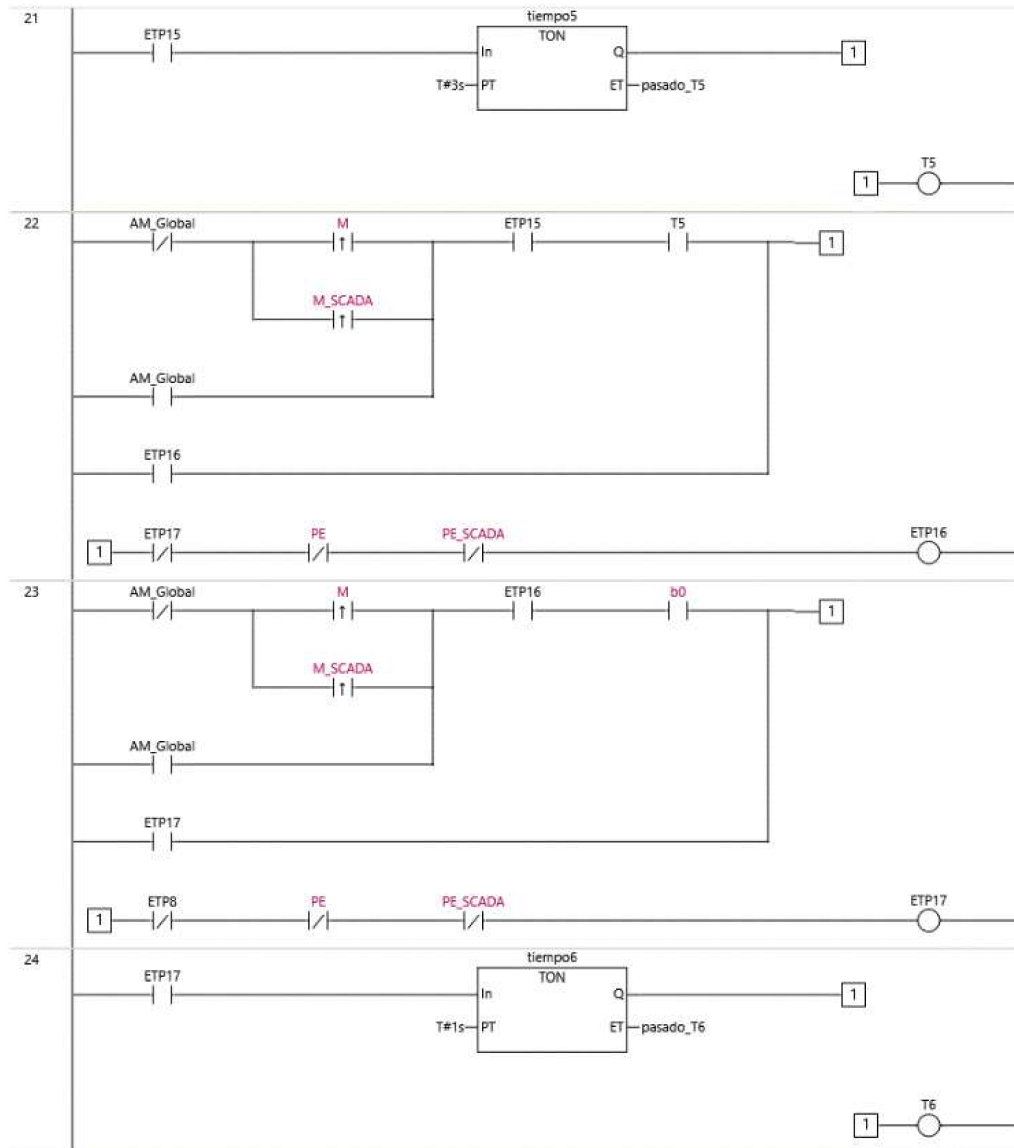


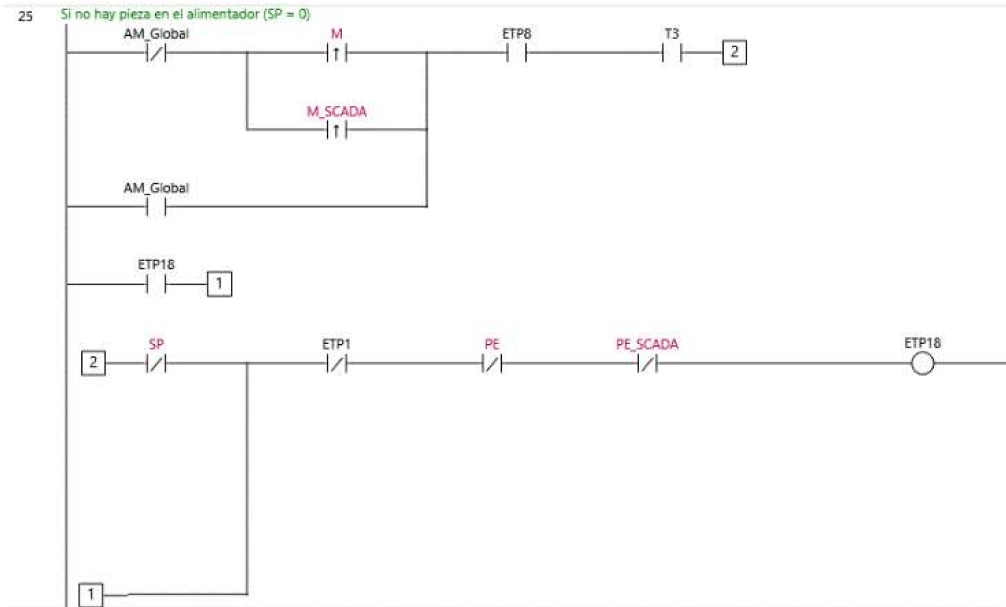




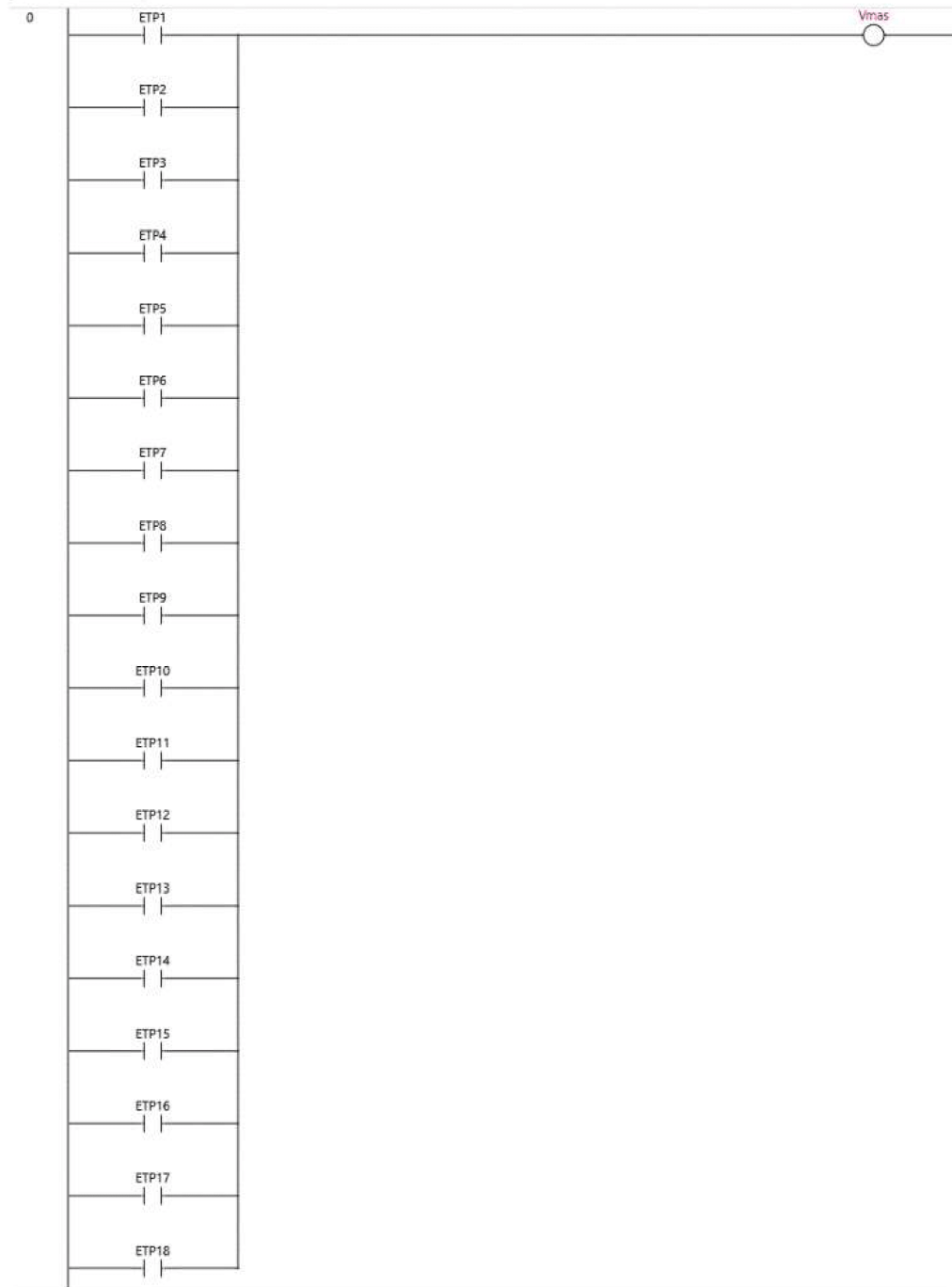


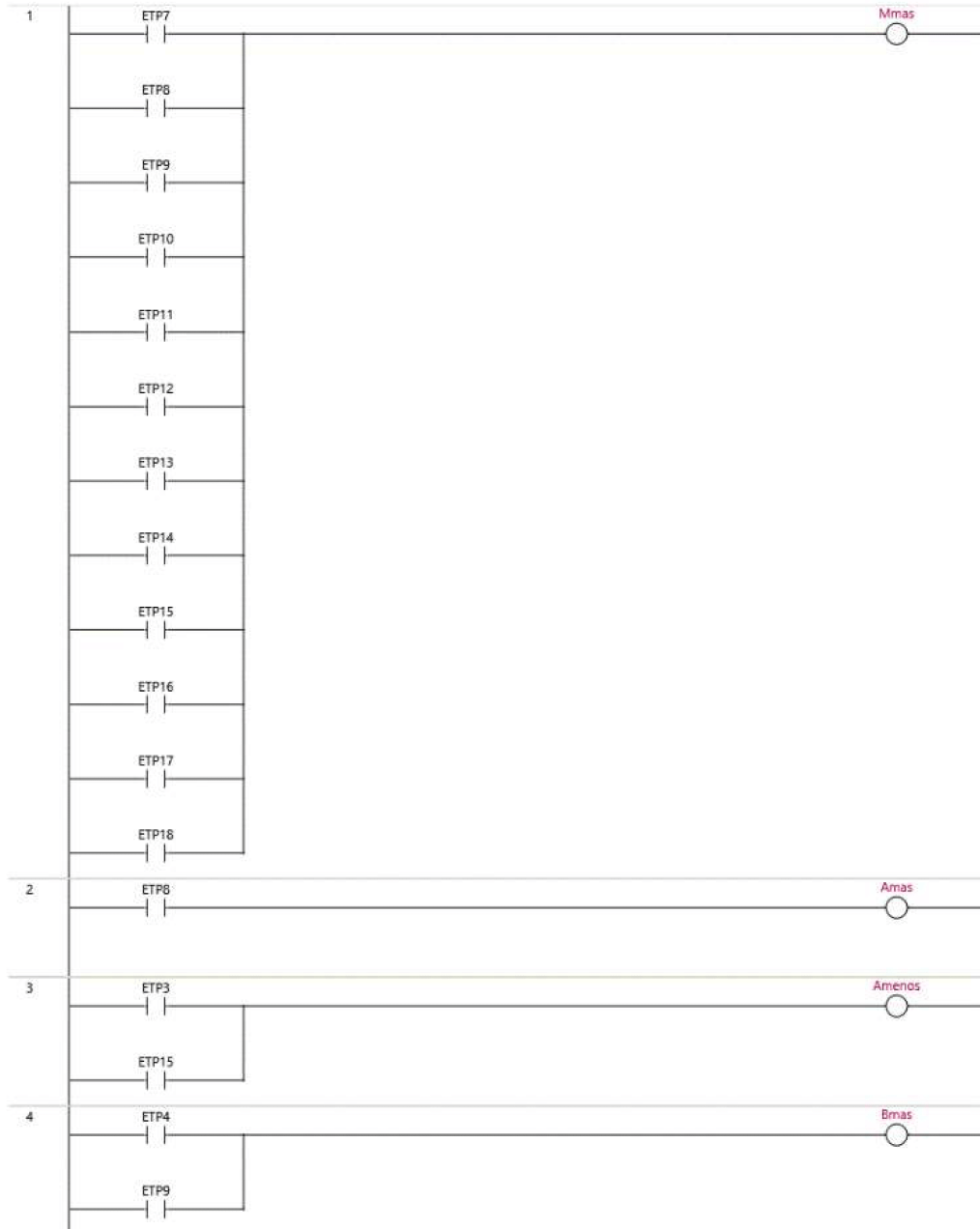


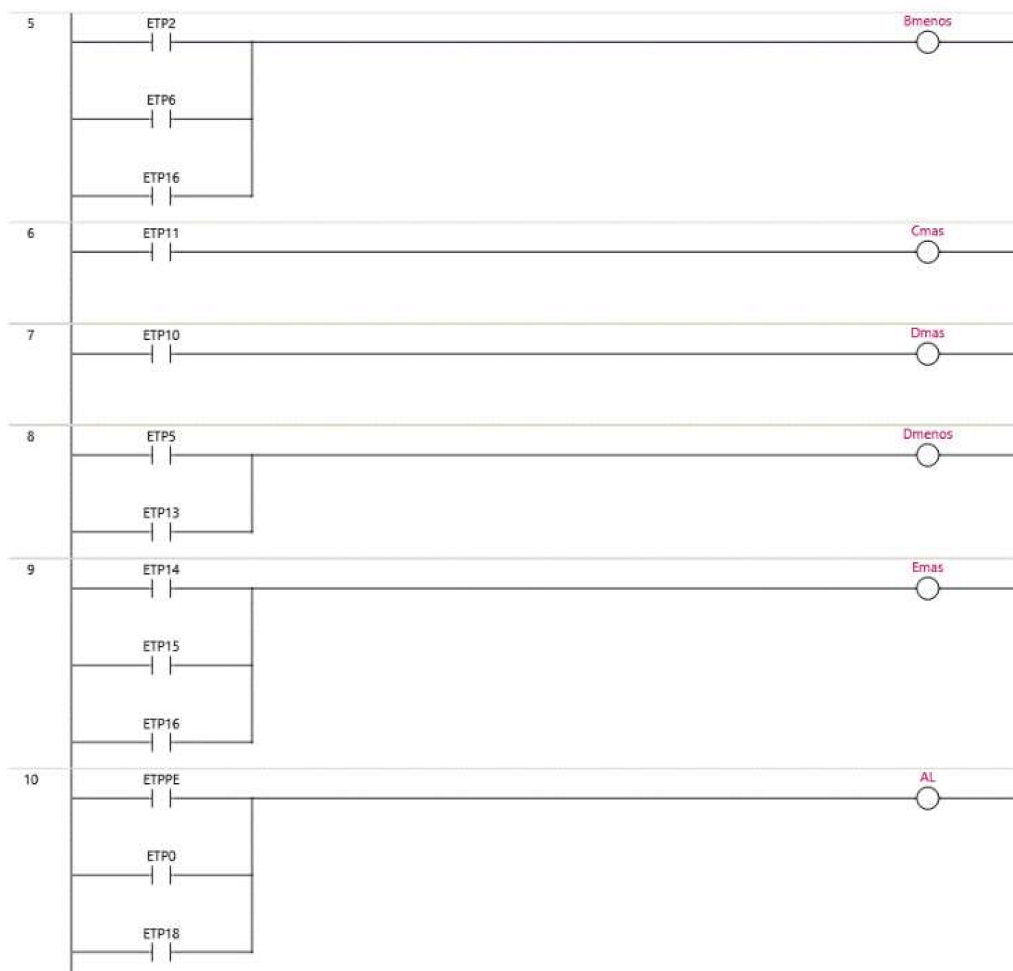




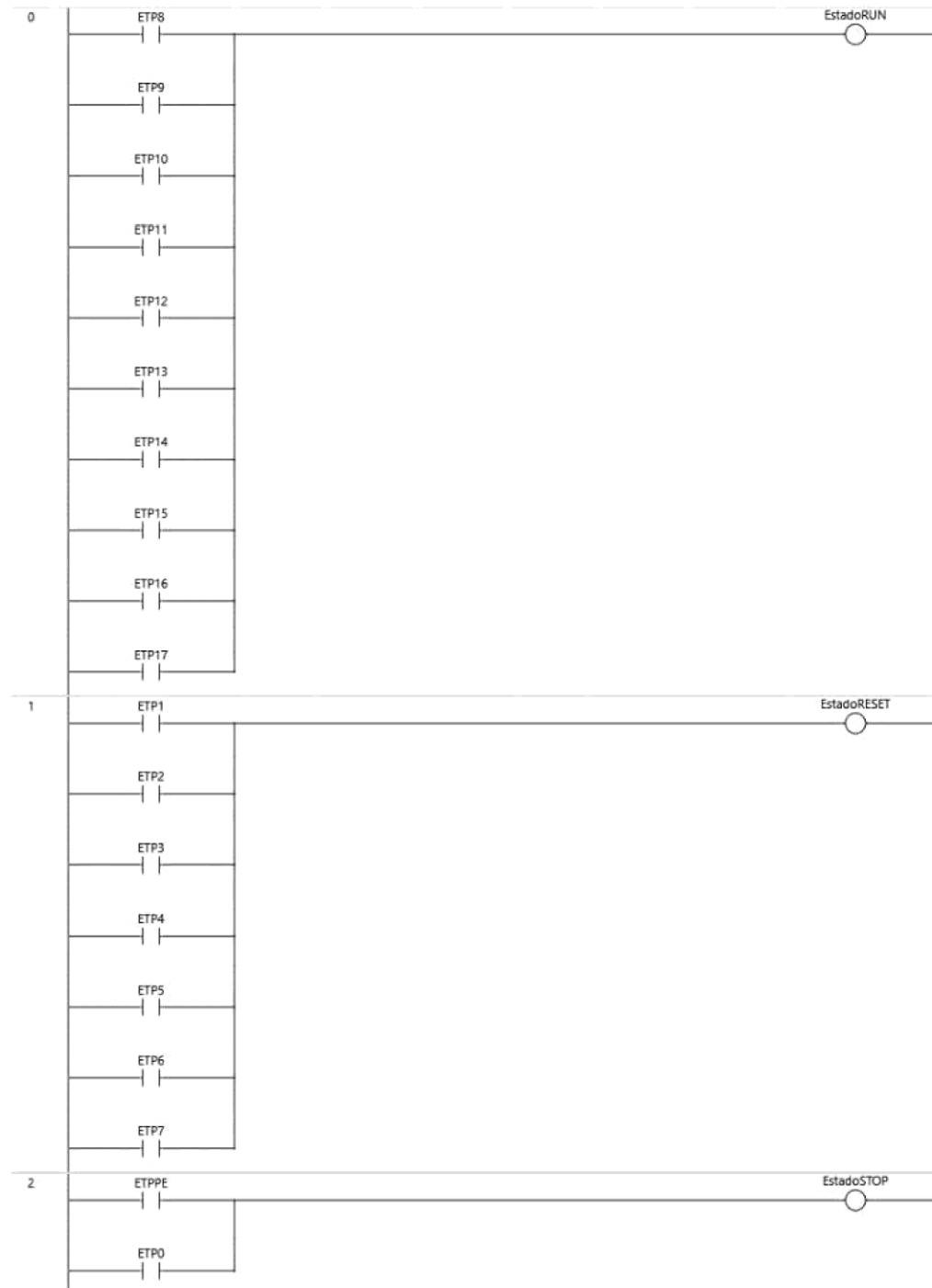
1-9-1-1-3.Salidas

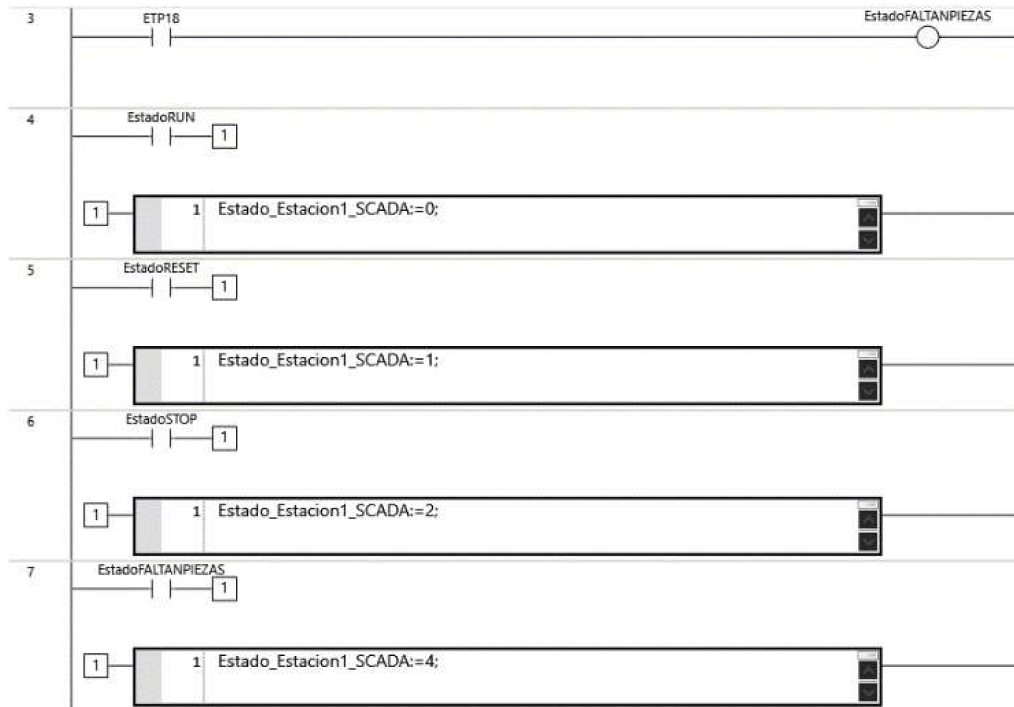






1-9-1-1-4.Estados



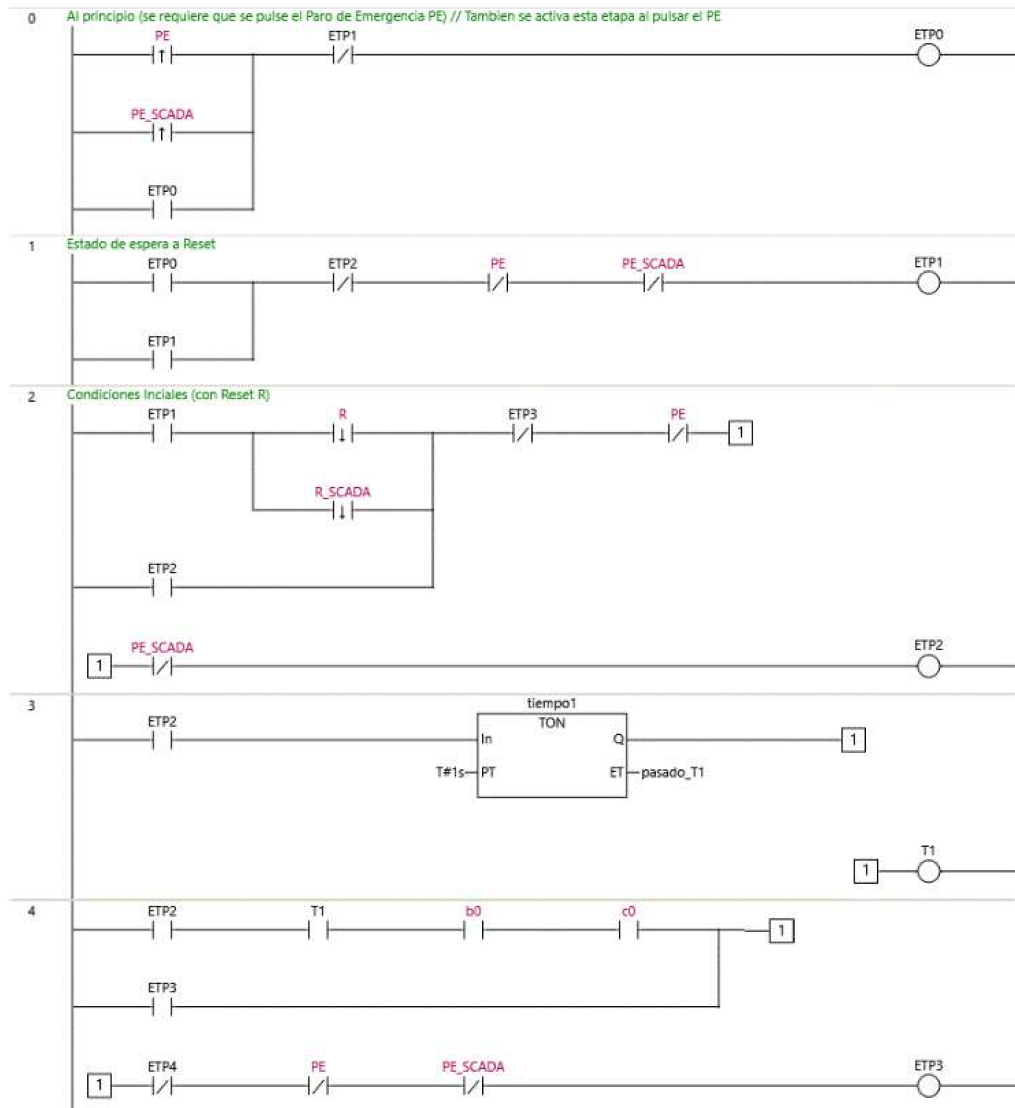


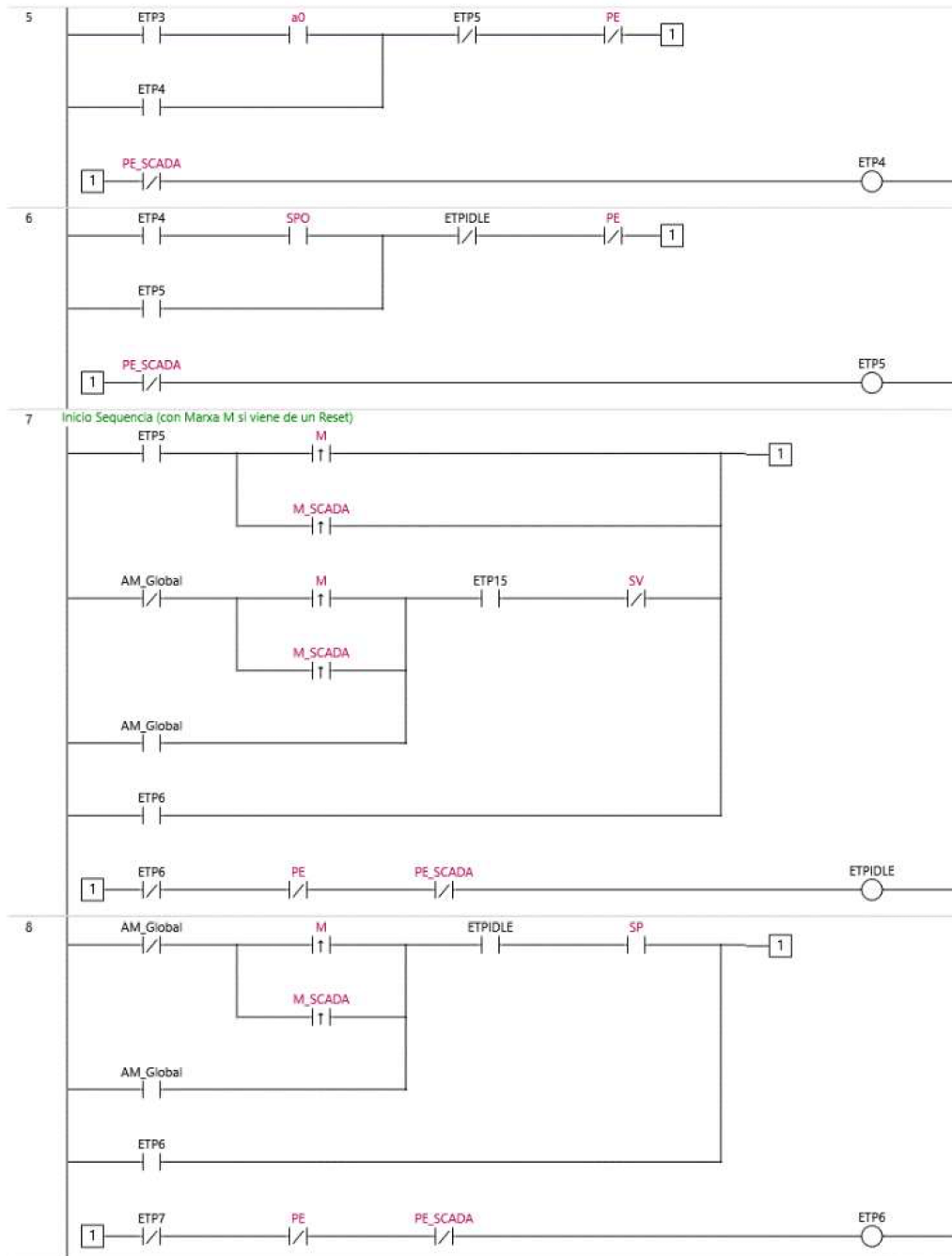
1-9-1-1-5. Conversion

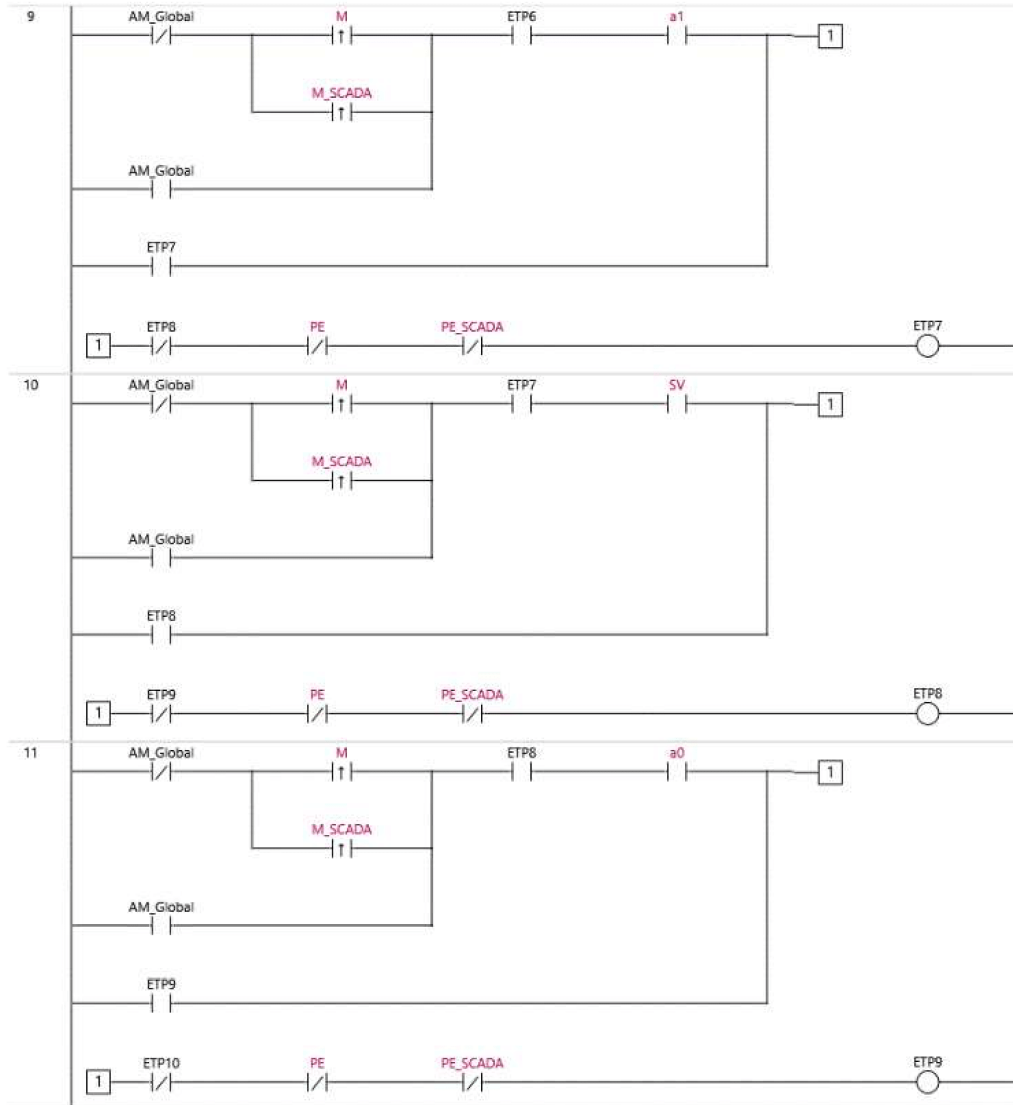


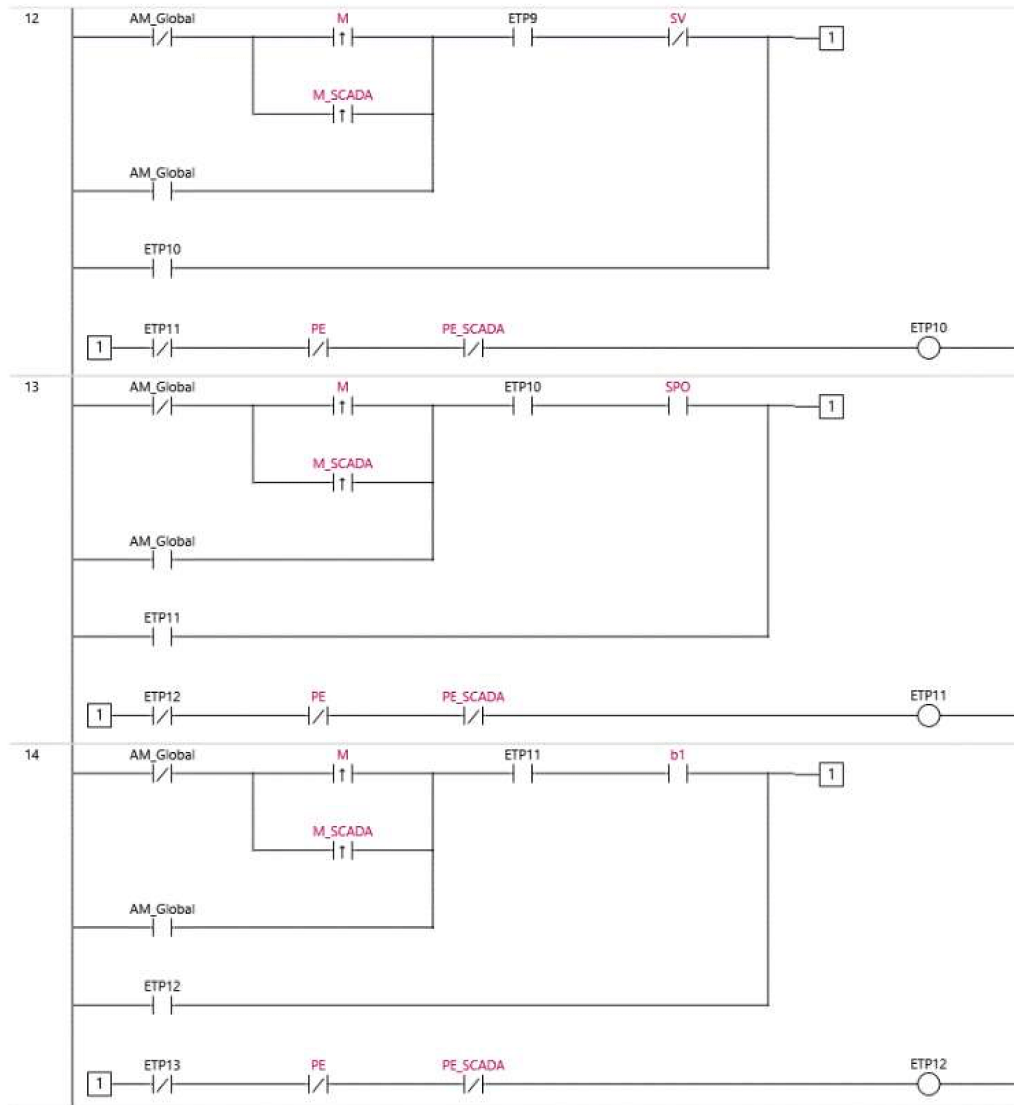
A.2 CODI DE PROGRAMACIÓ DEL PLC DE L'ESTACIÓ II

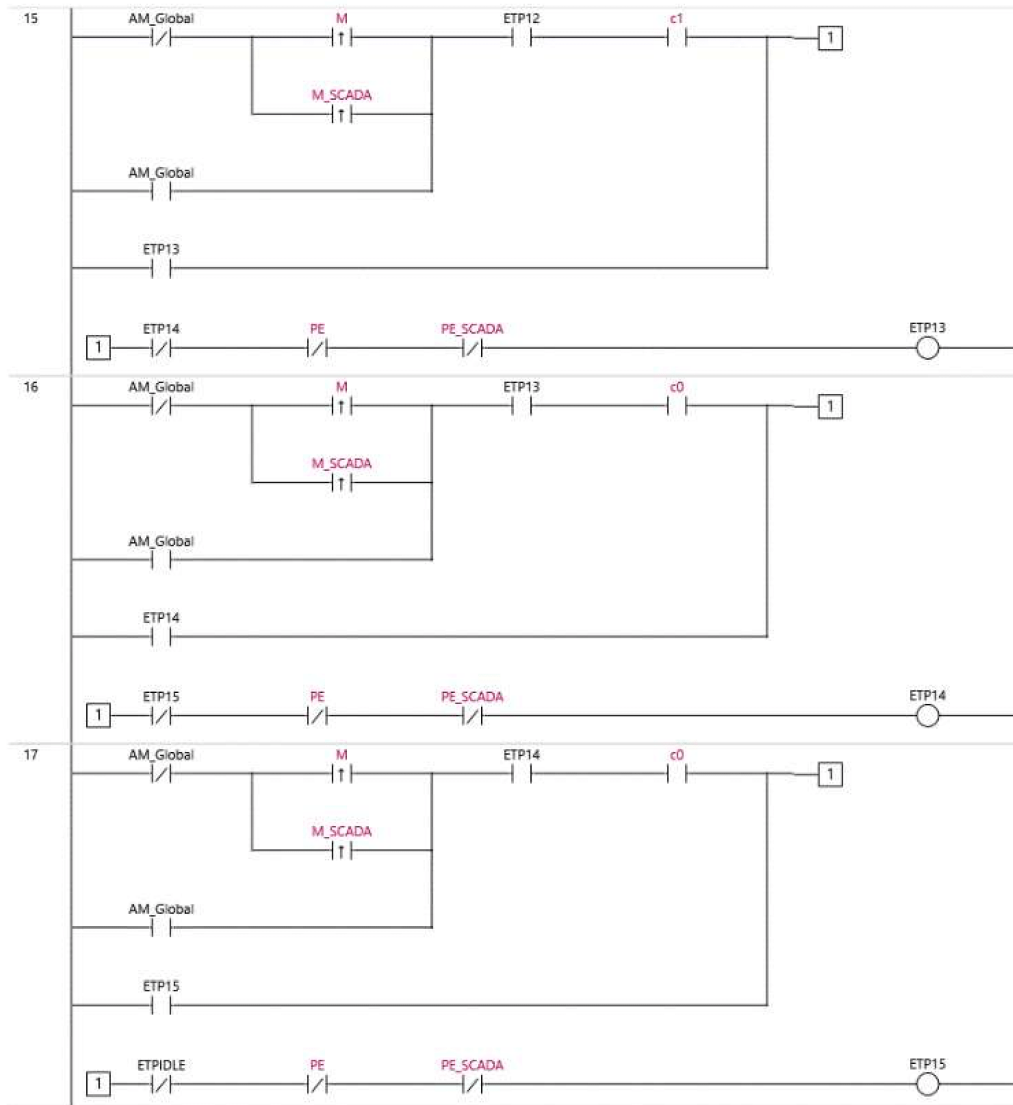
1-9-1-1-2.Secuencia



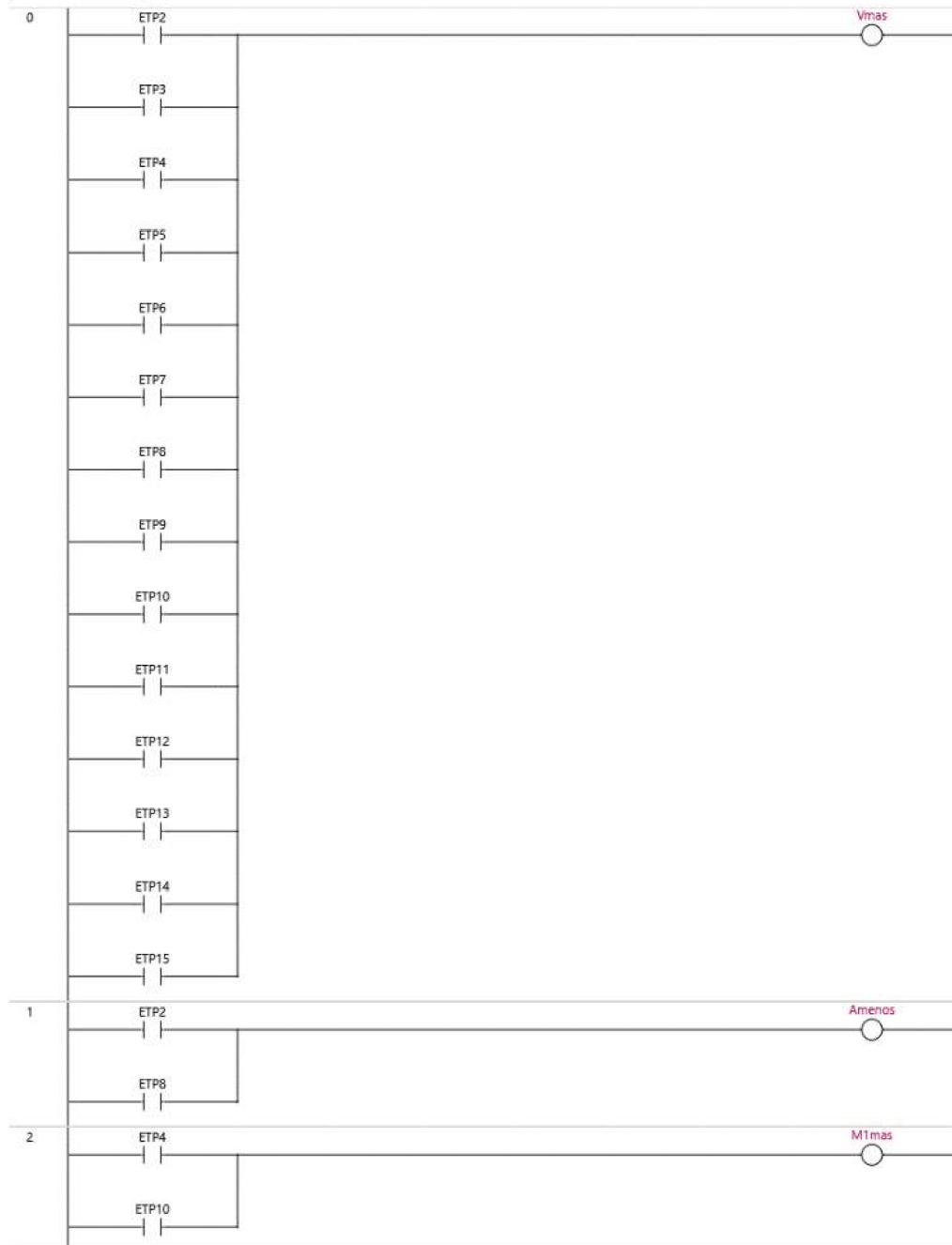


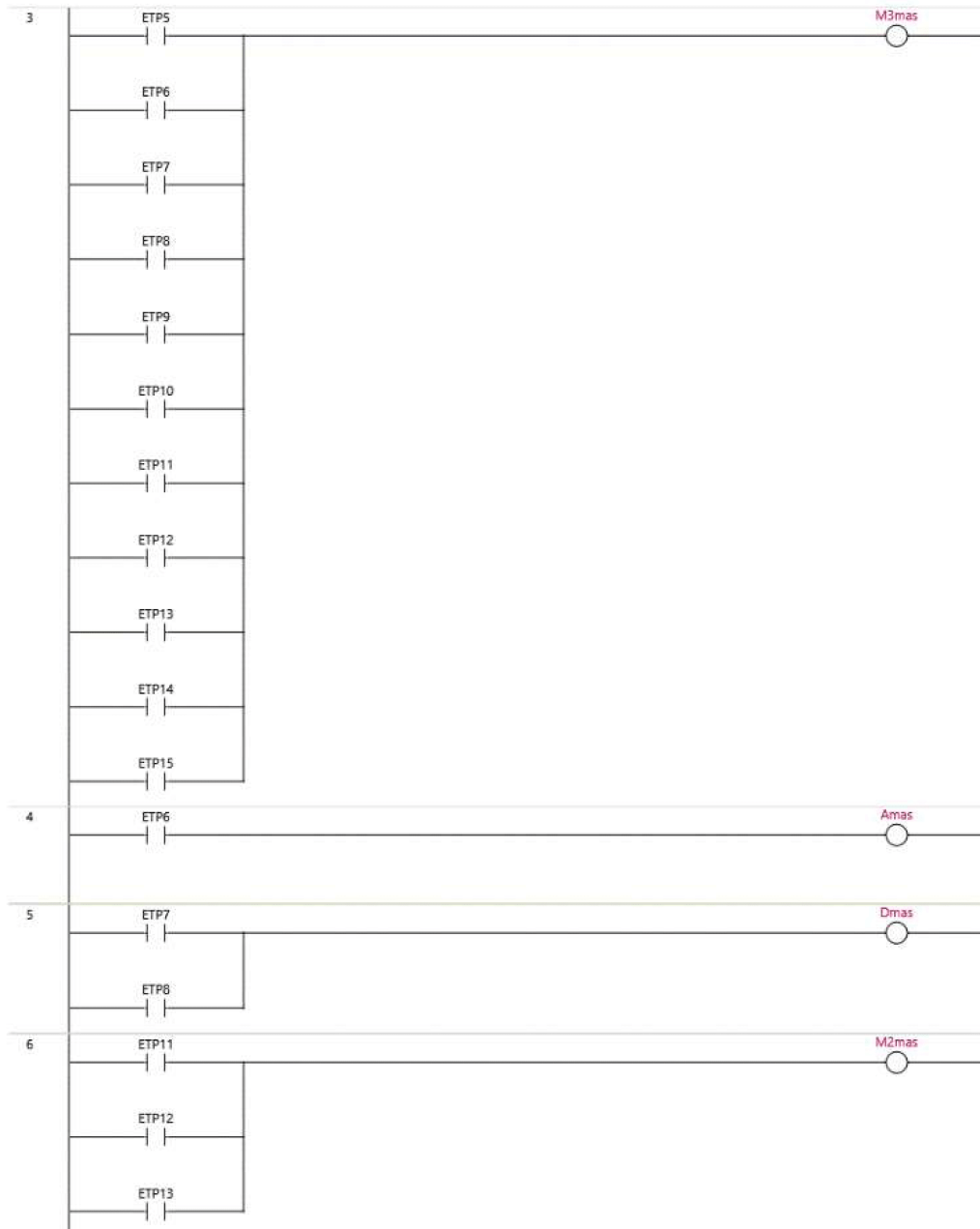






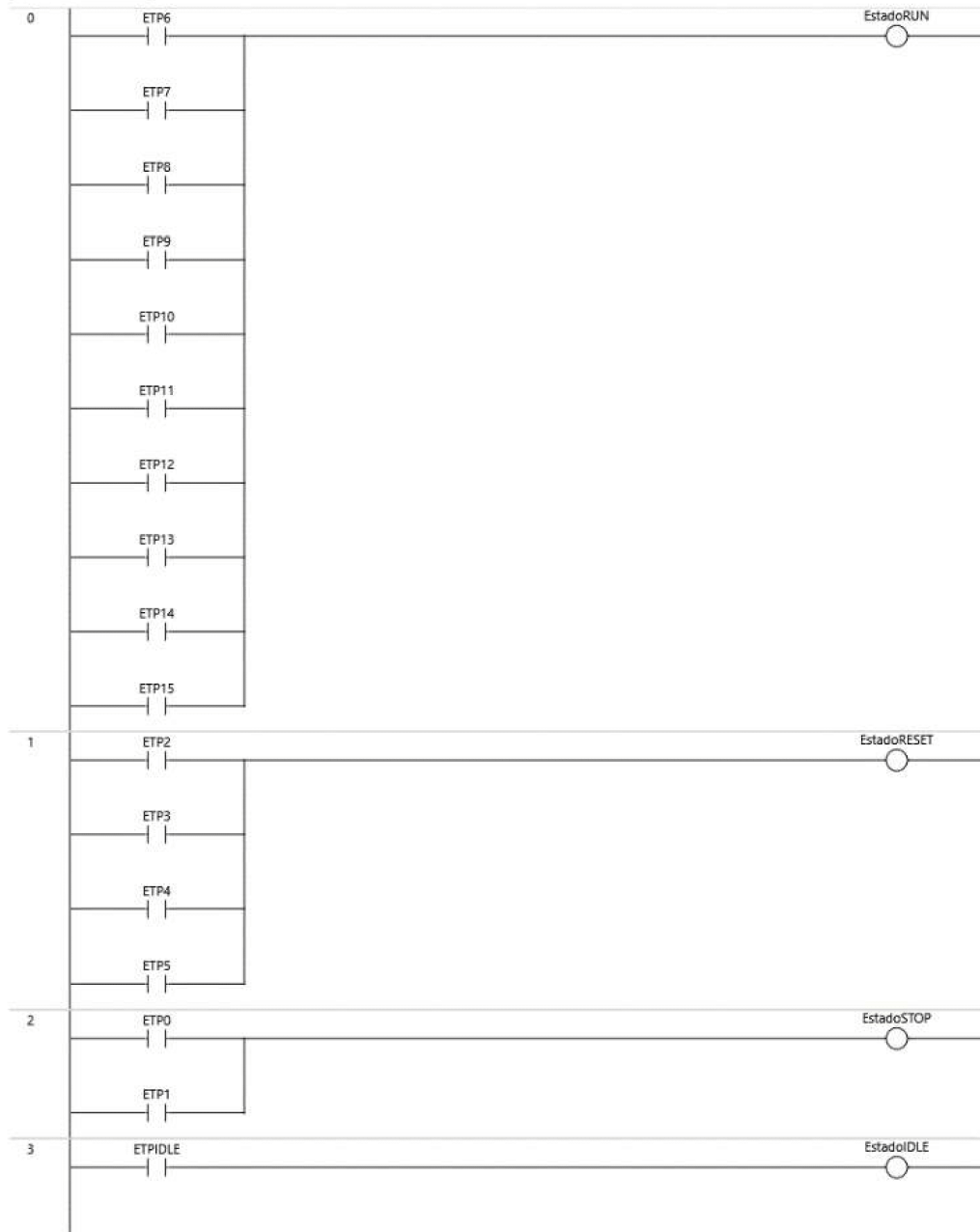
1-9-1-1-3.Salidas

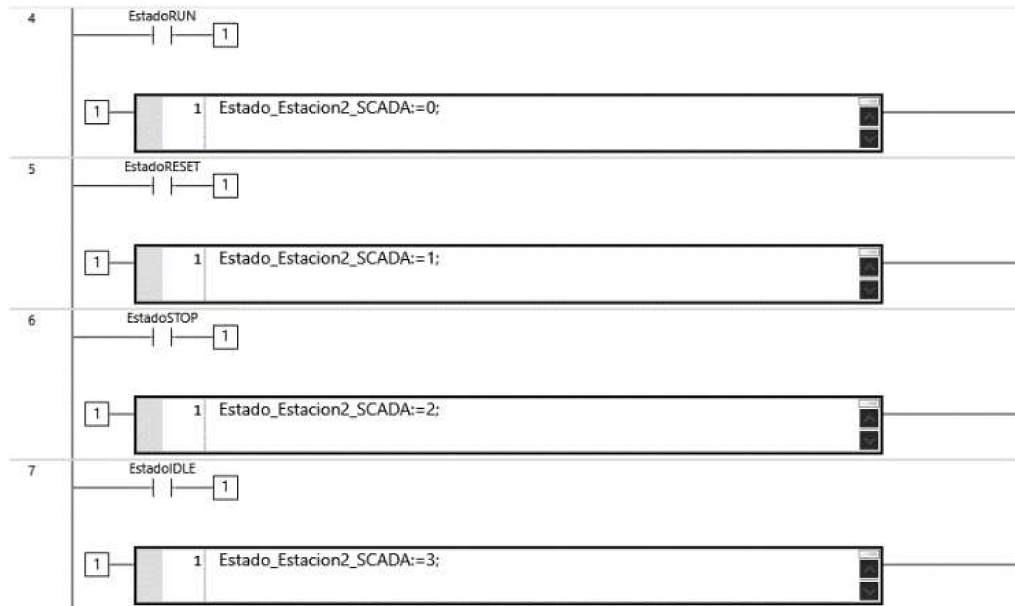






1-9-1-1-4.Estados



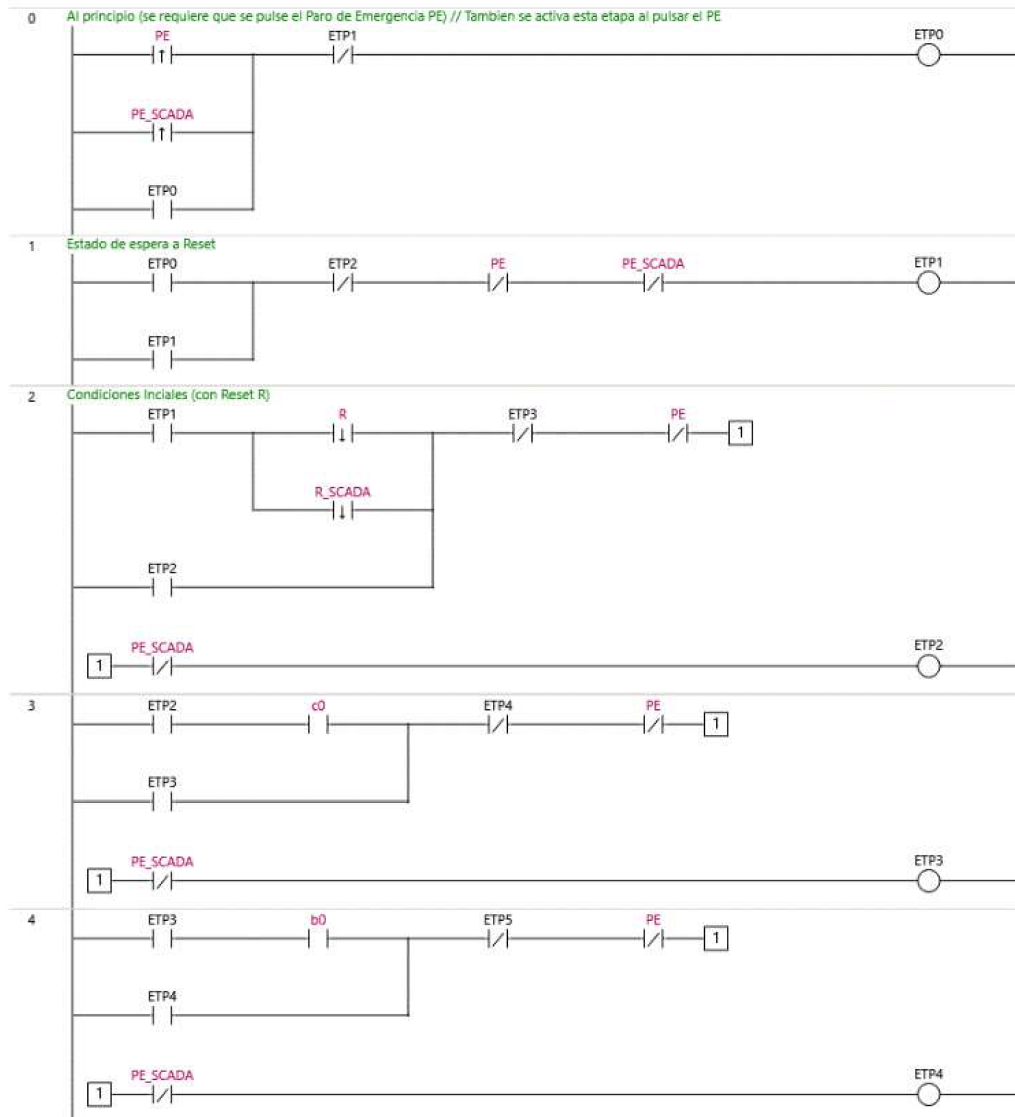


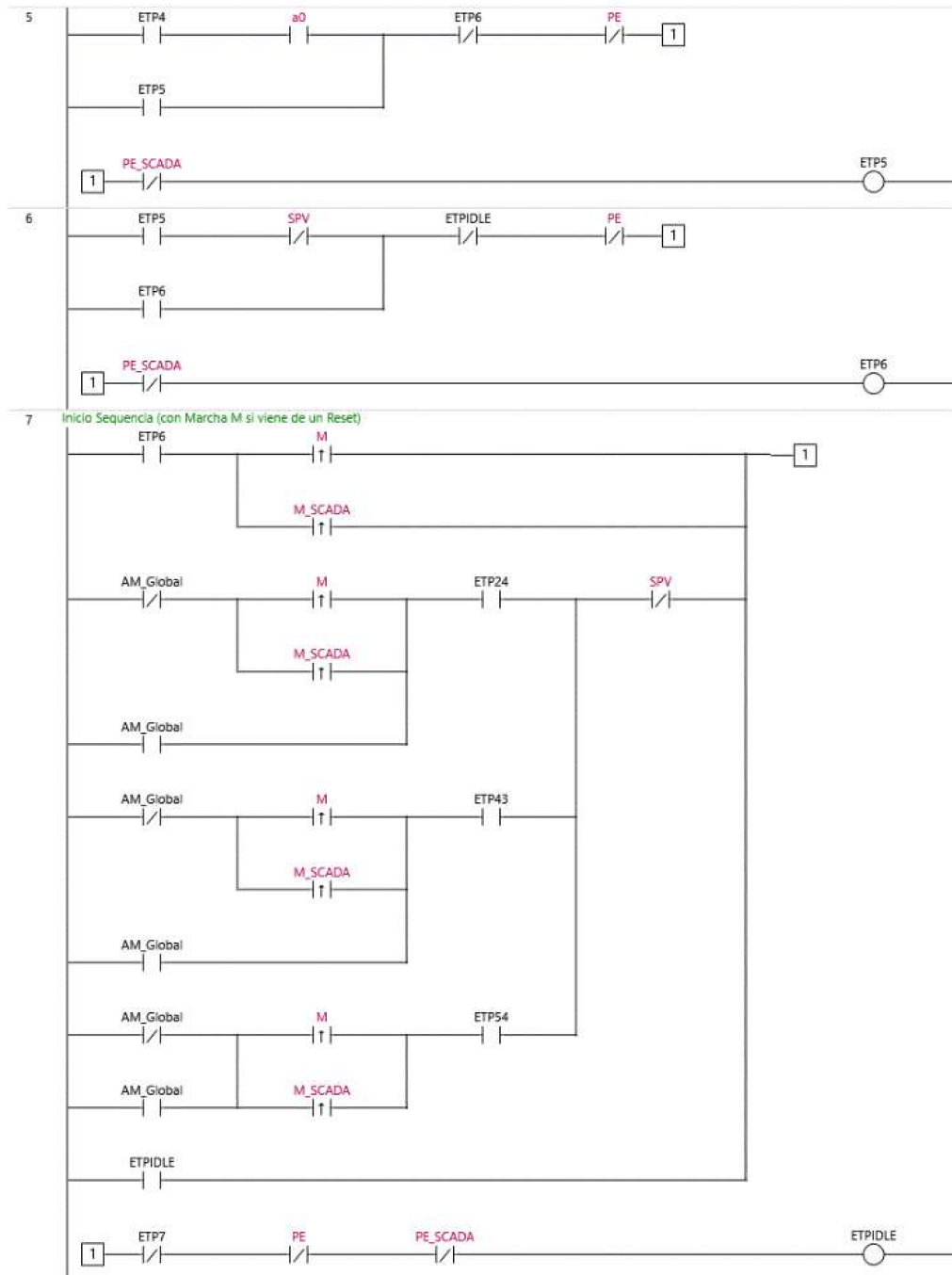
1-9-1-1-5. Conversion

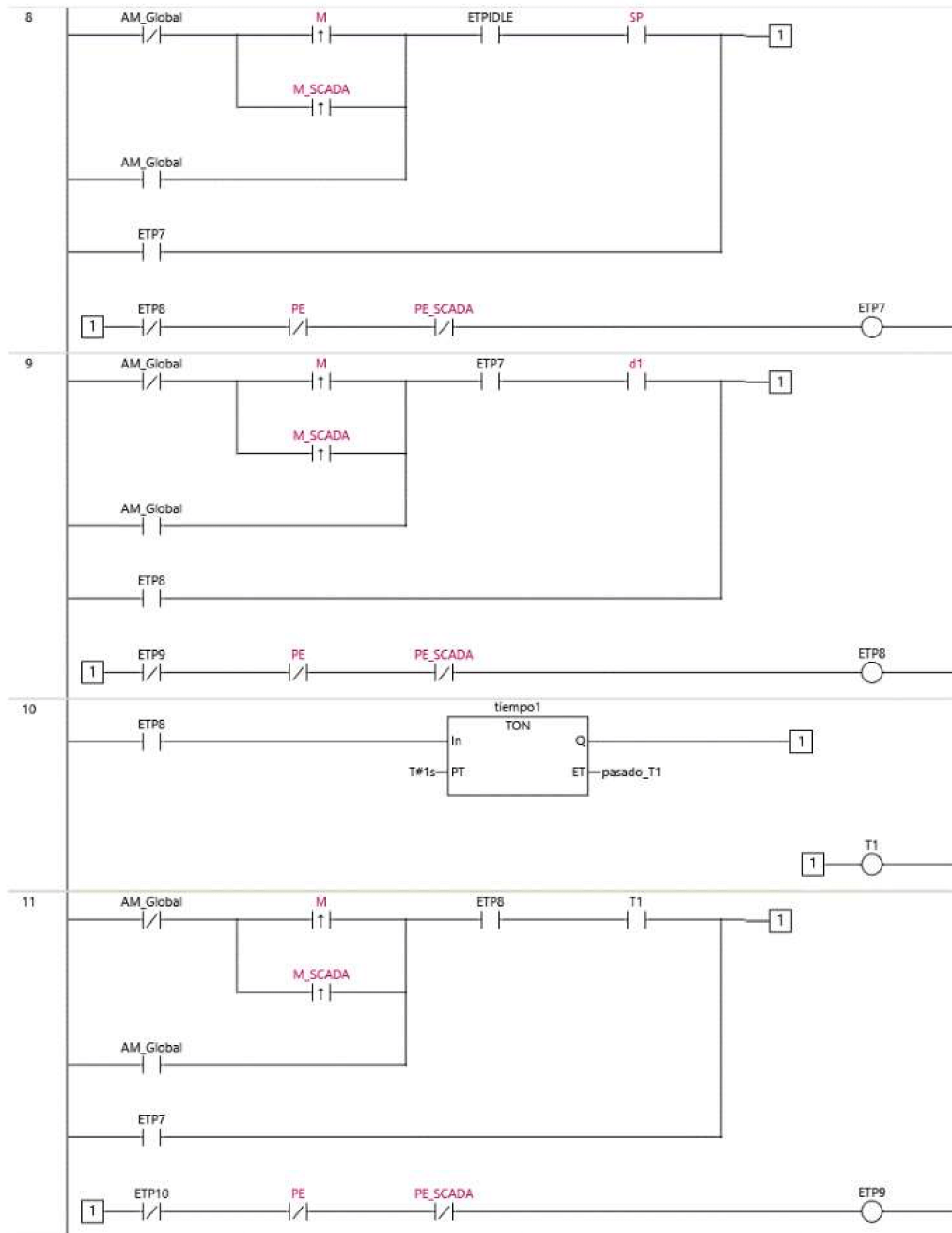


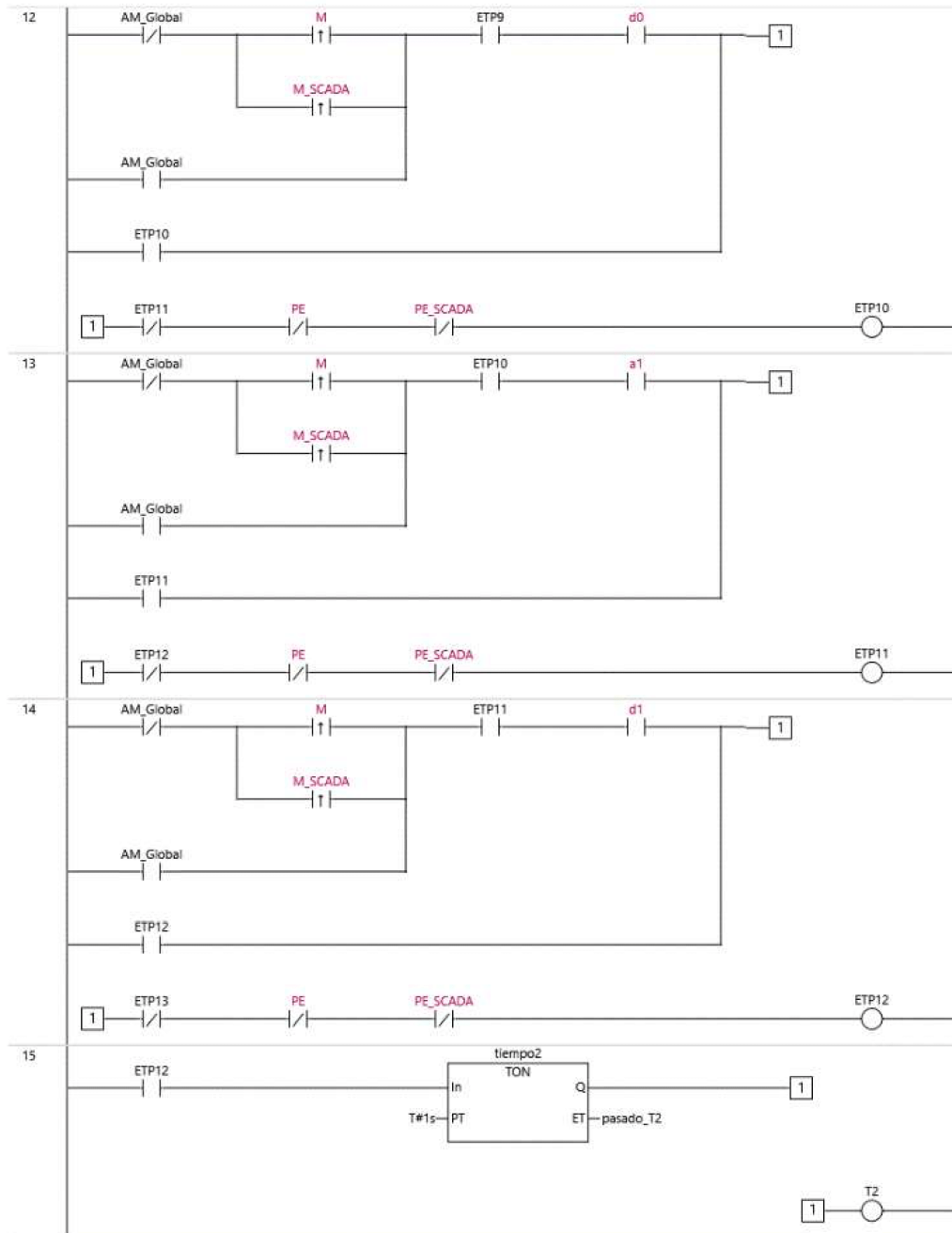
A.3 CODI DE PROGRAMACIÓ DEL PLC DE L'ESTACIÓ III

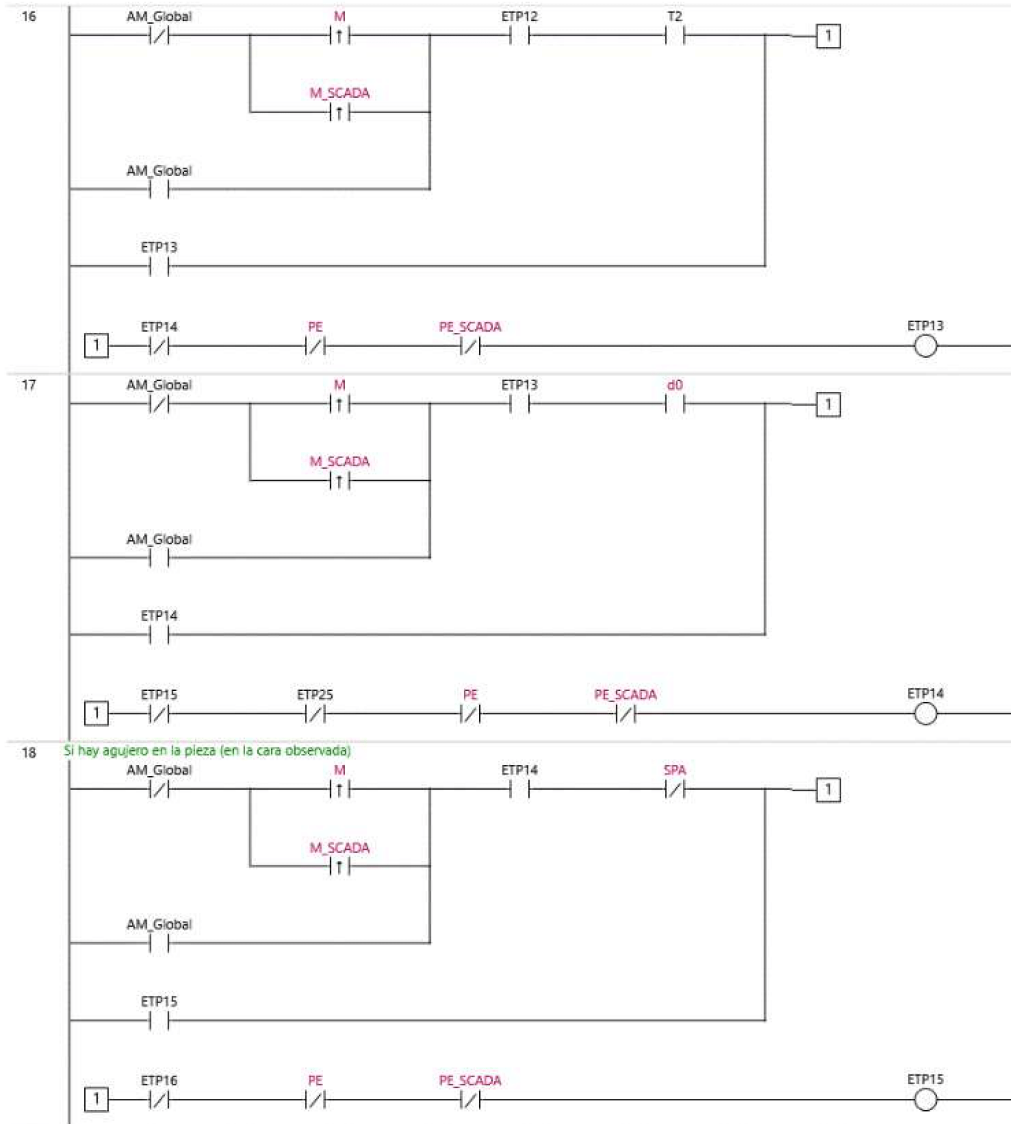
1-9-1-1-2.Secuencia

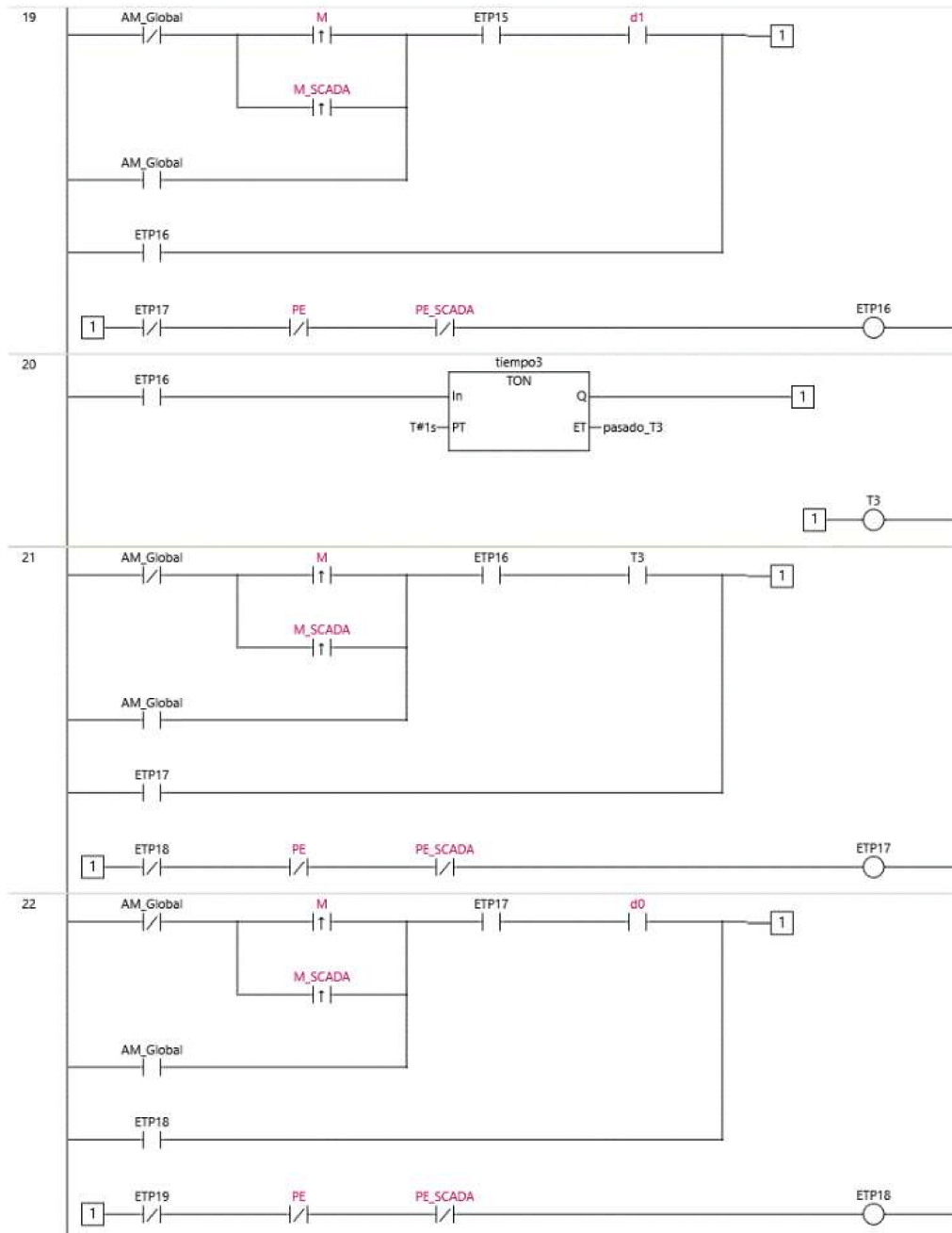


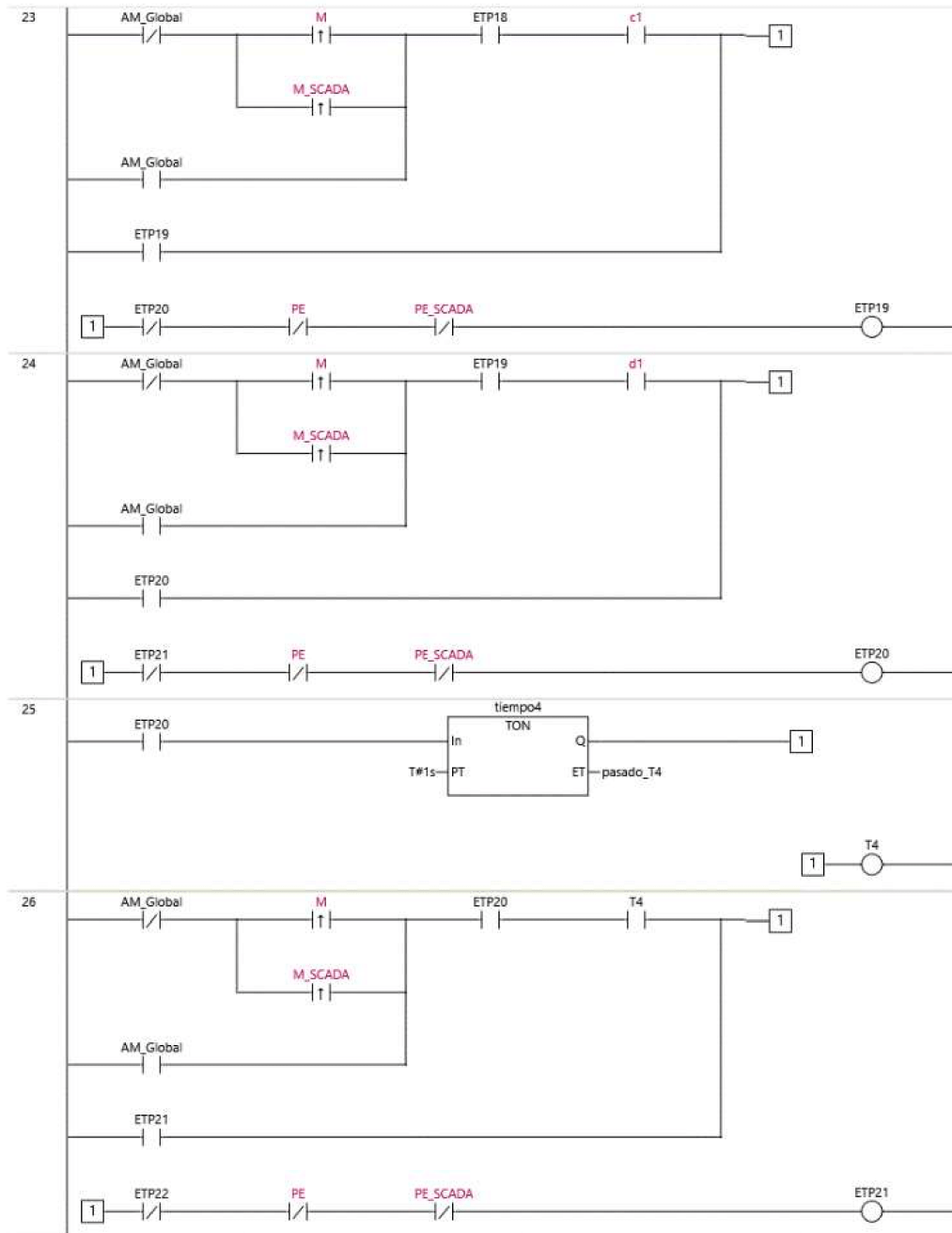


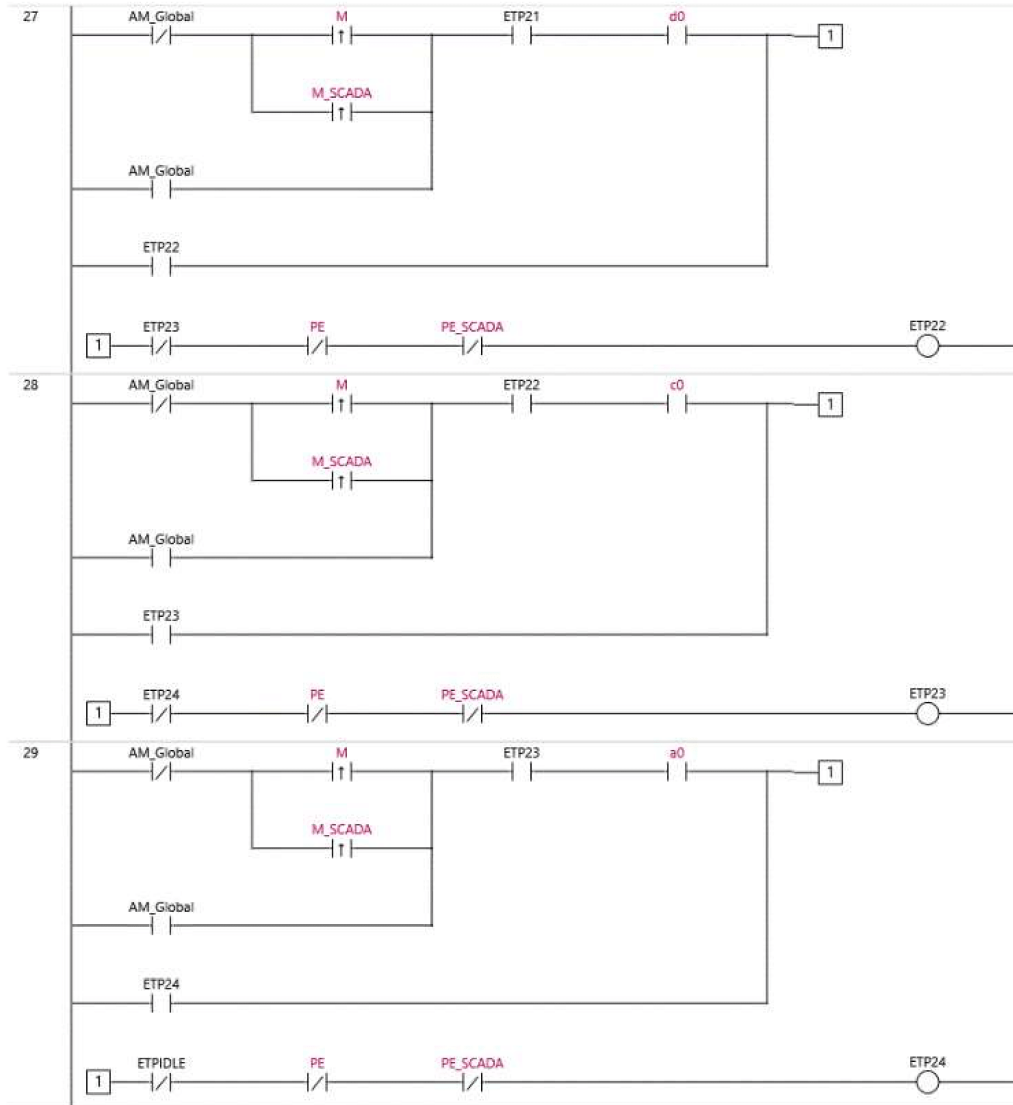


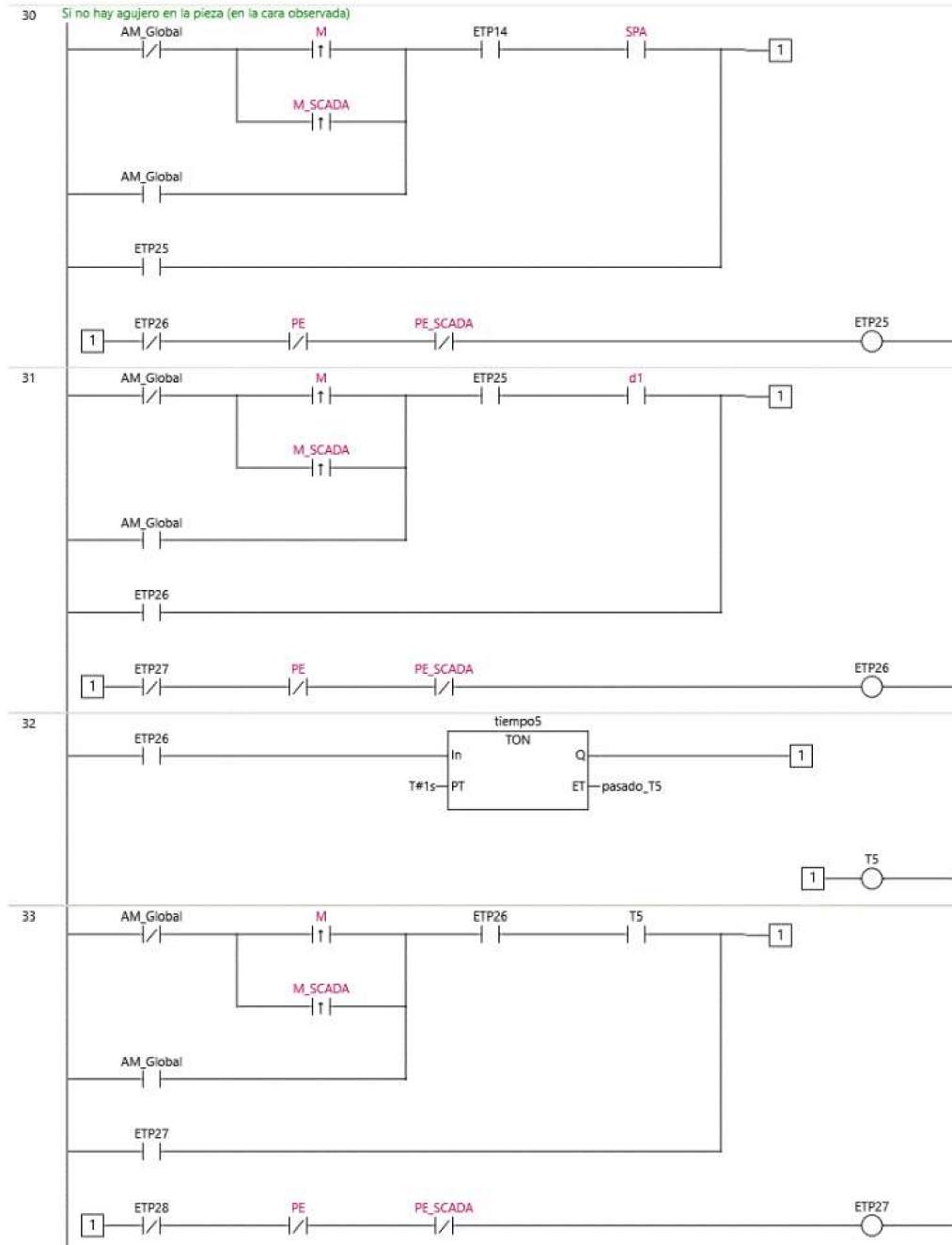


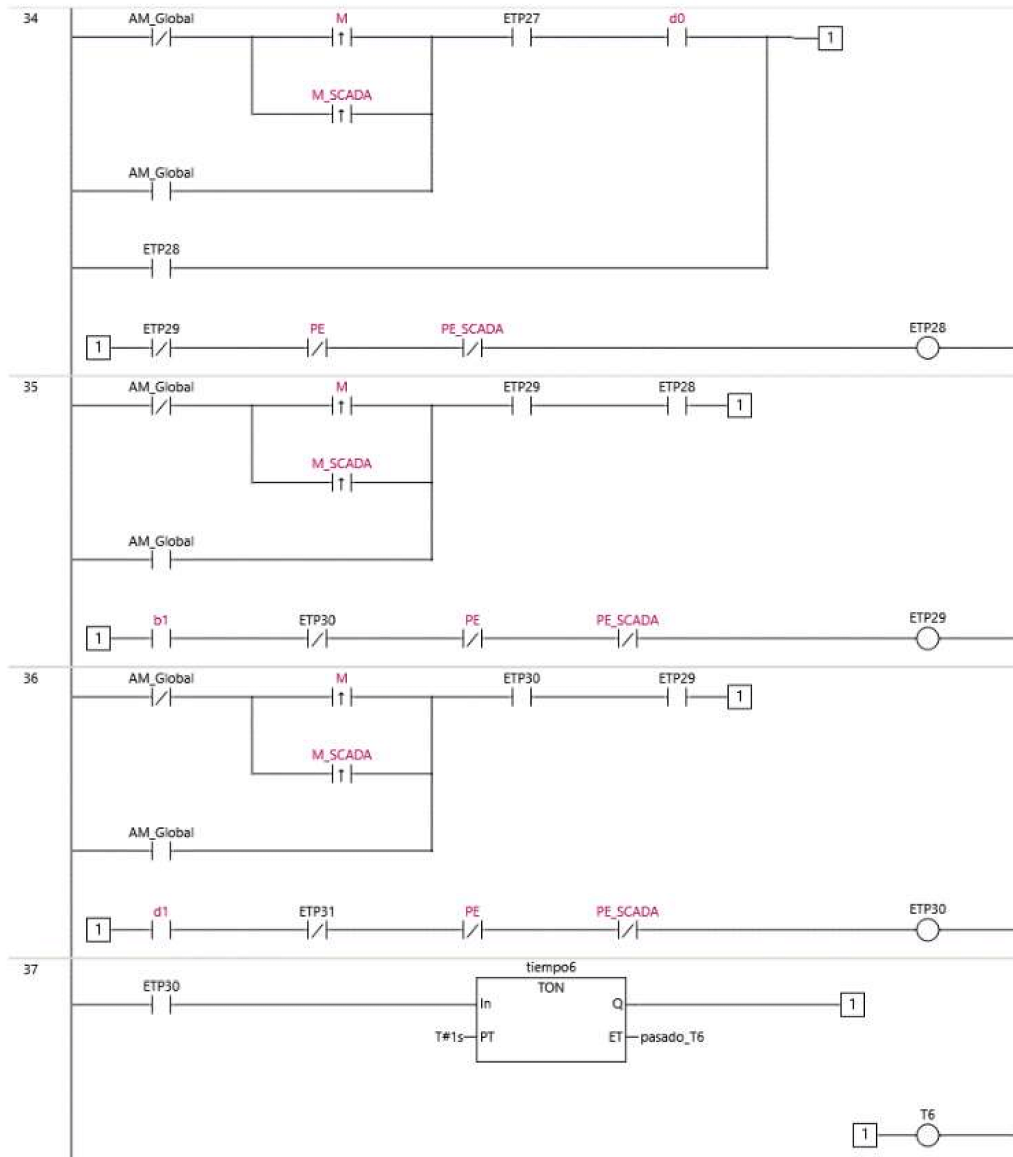


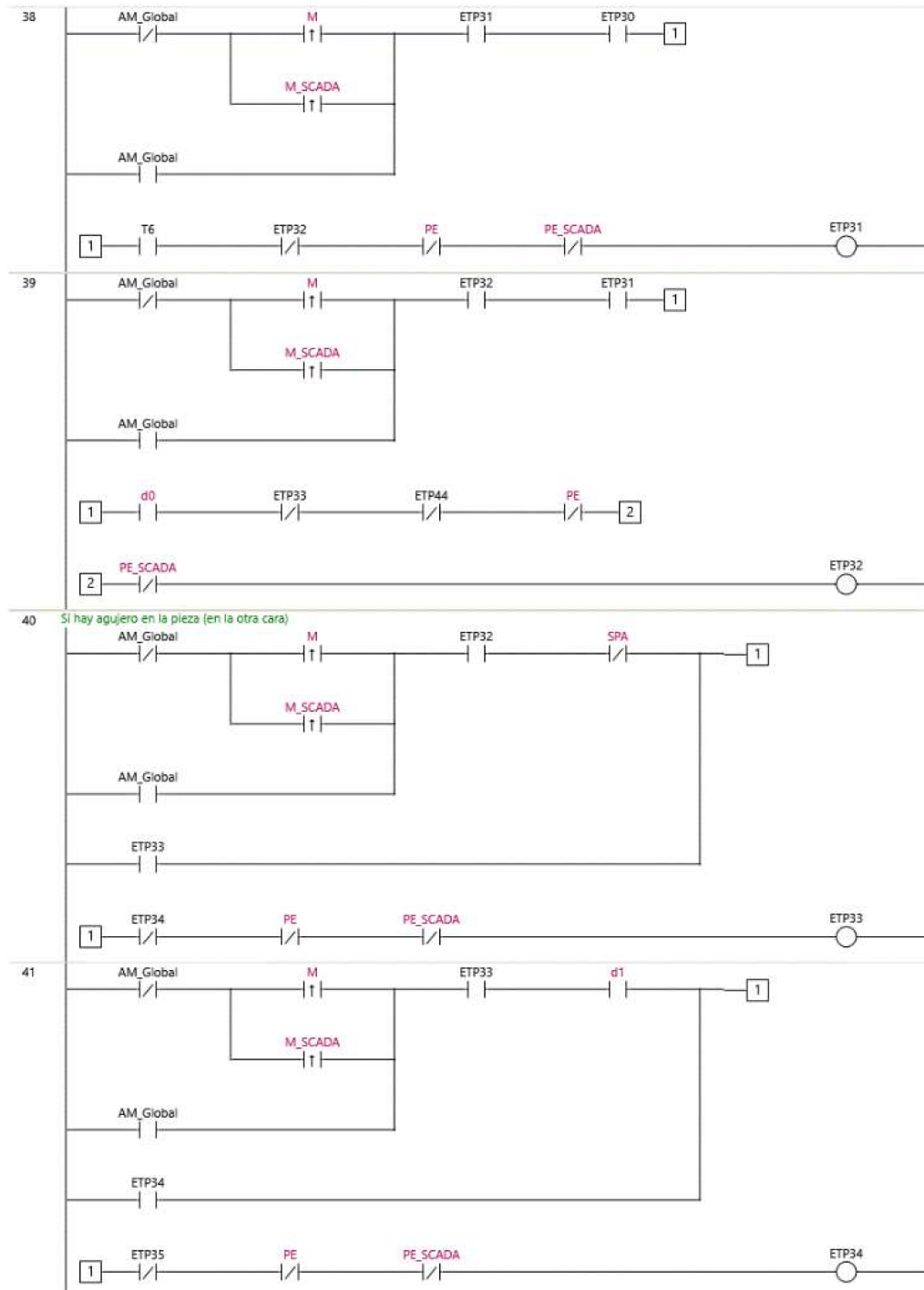


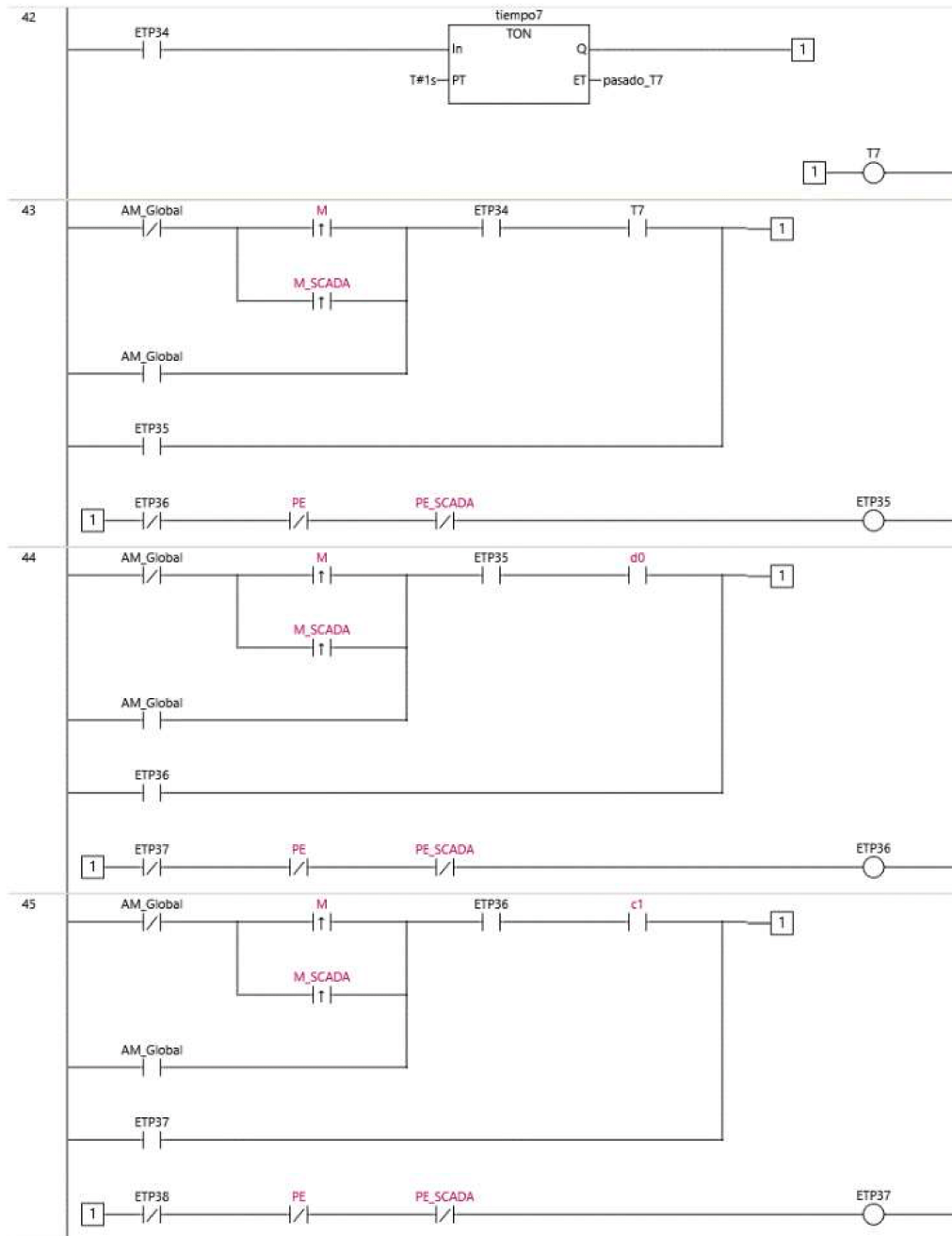


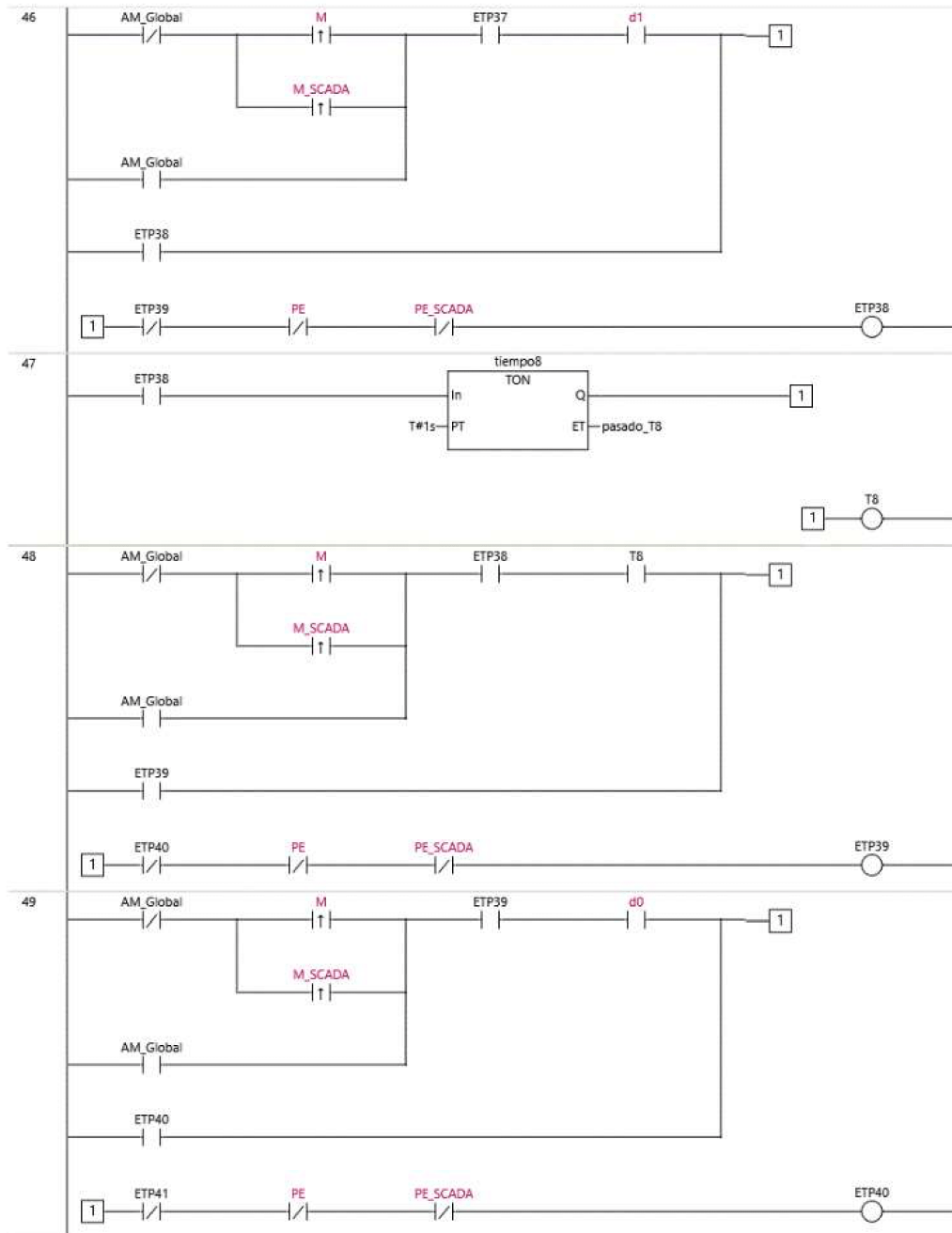


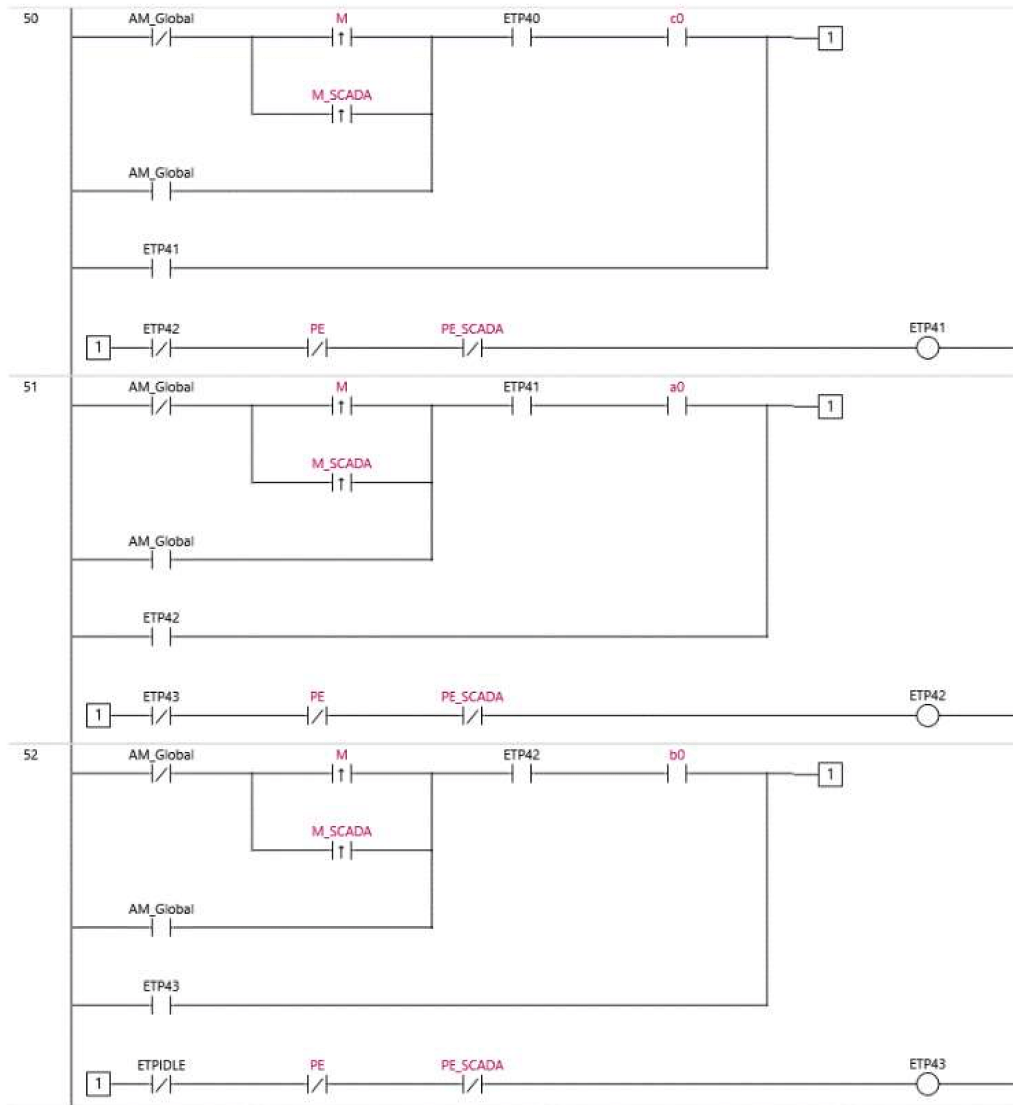


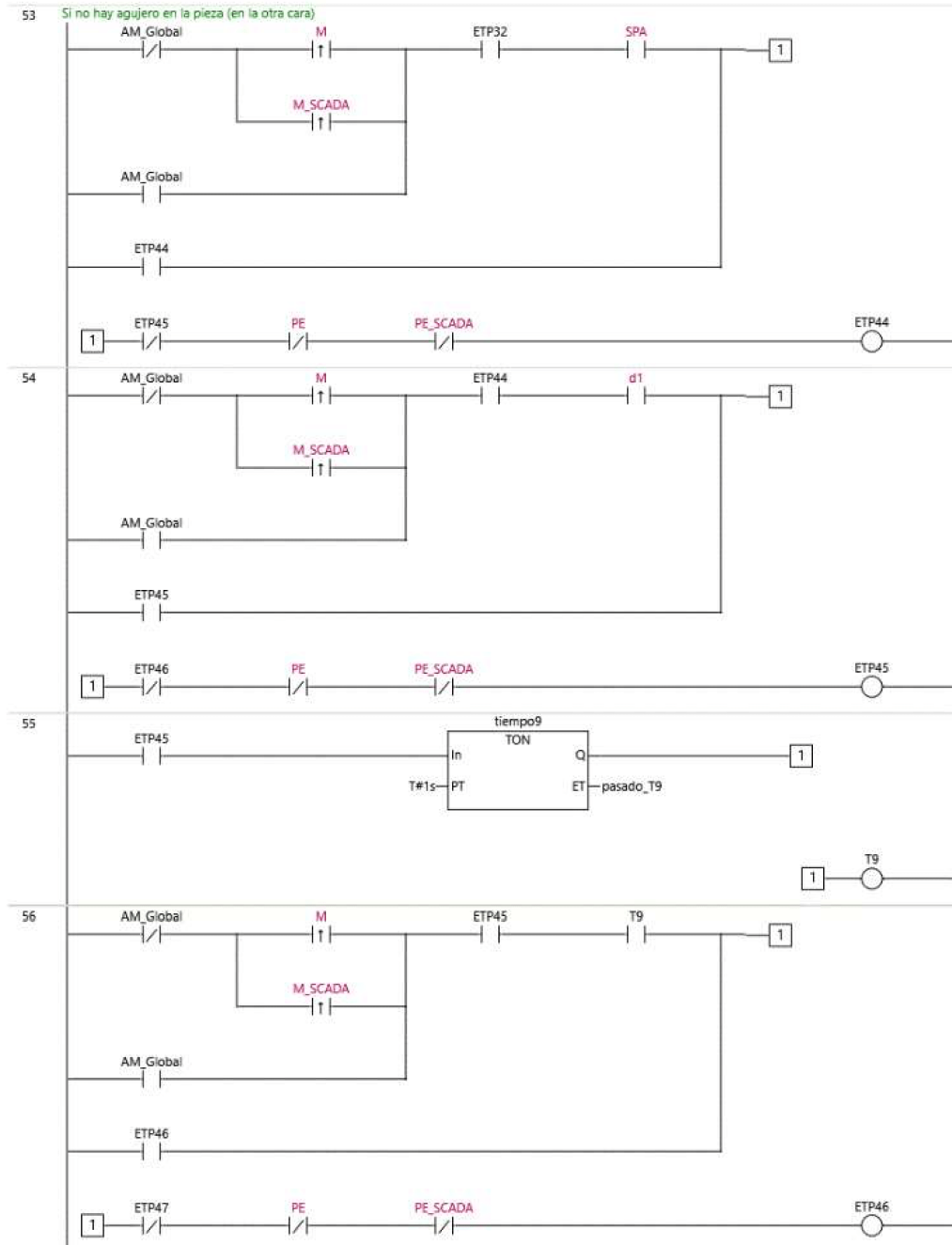


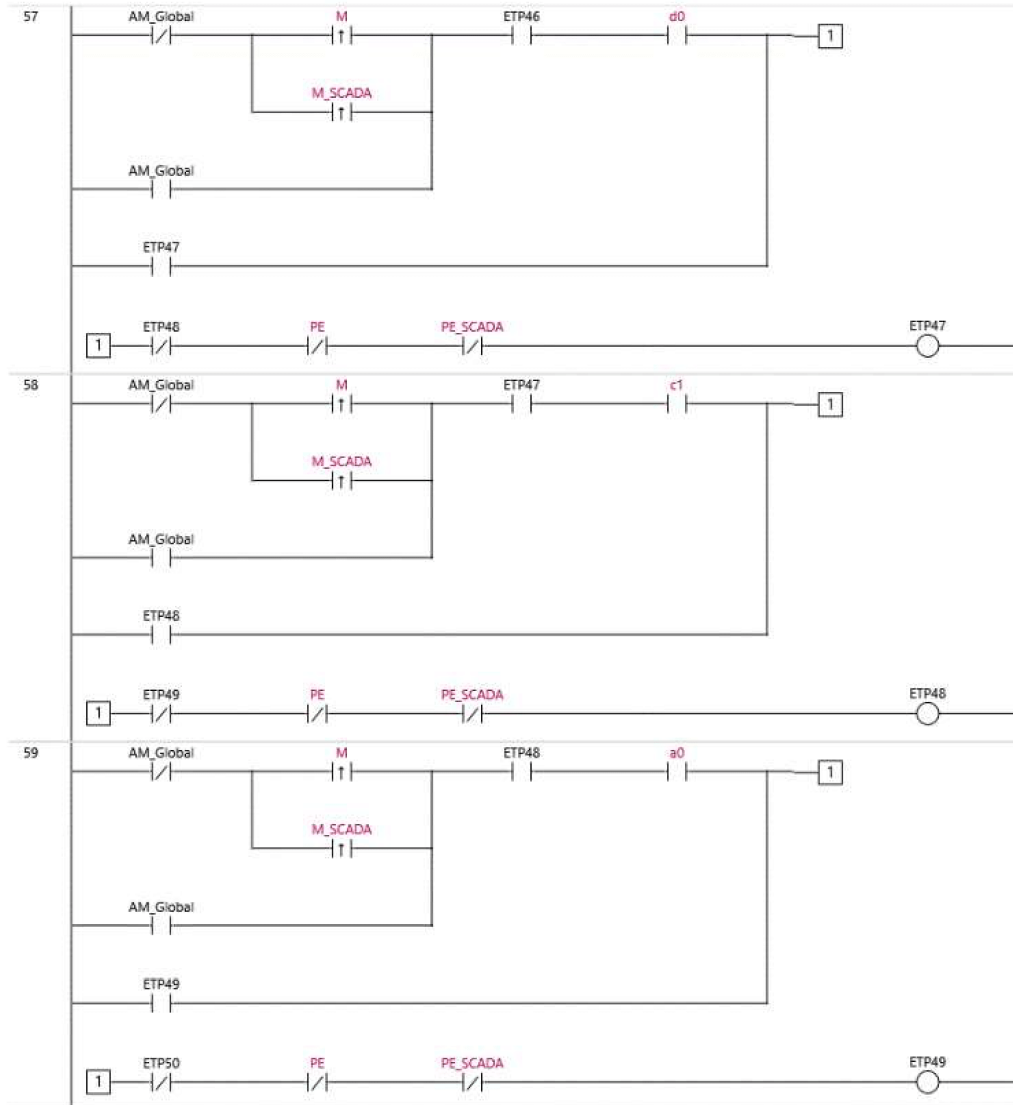


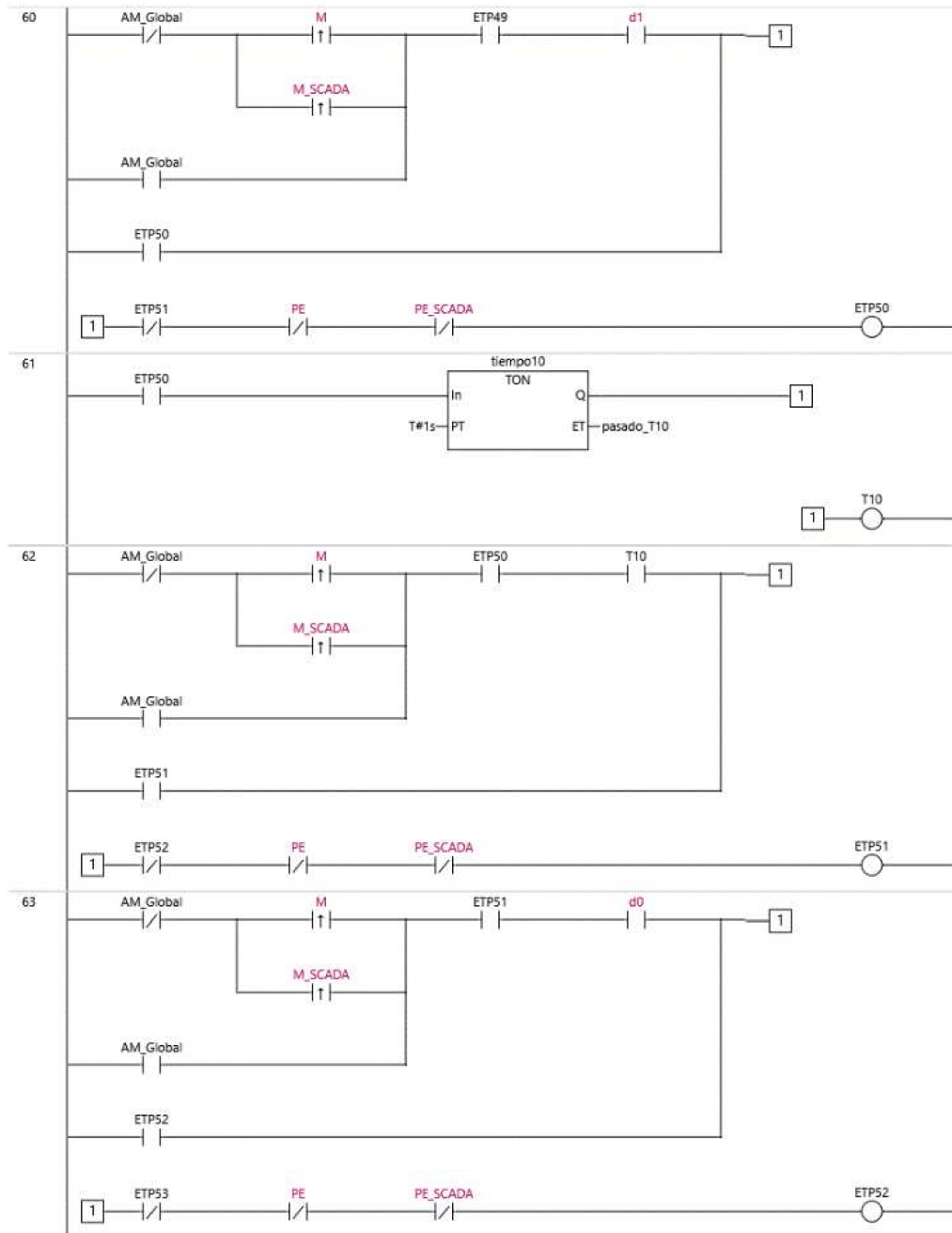


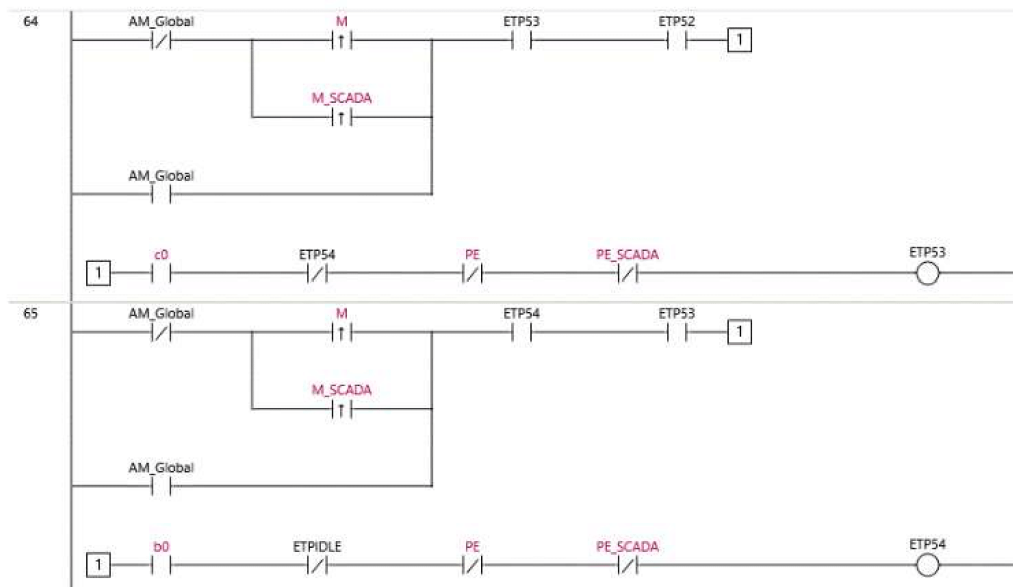




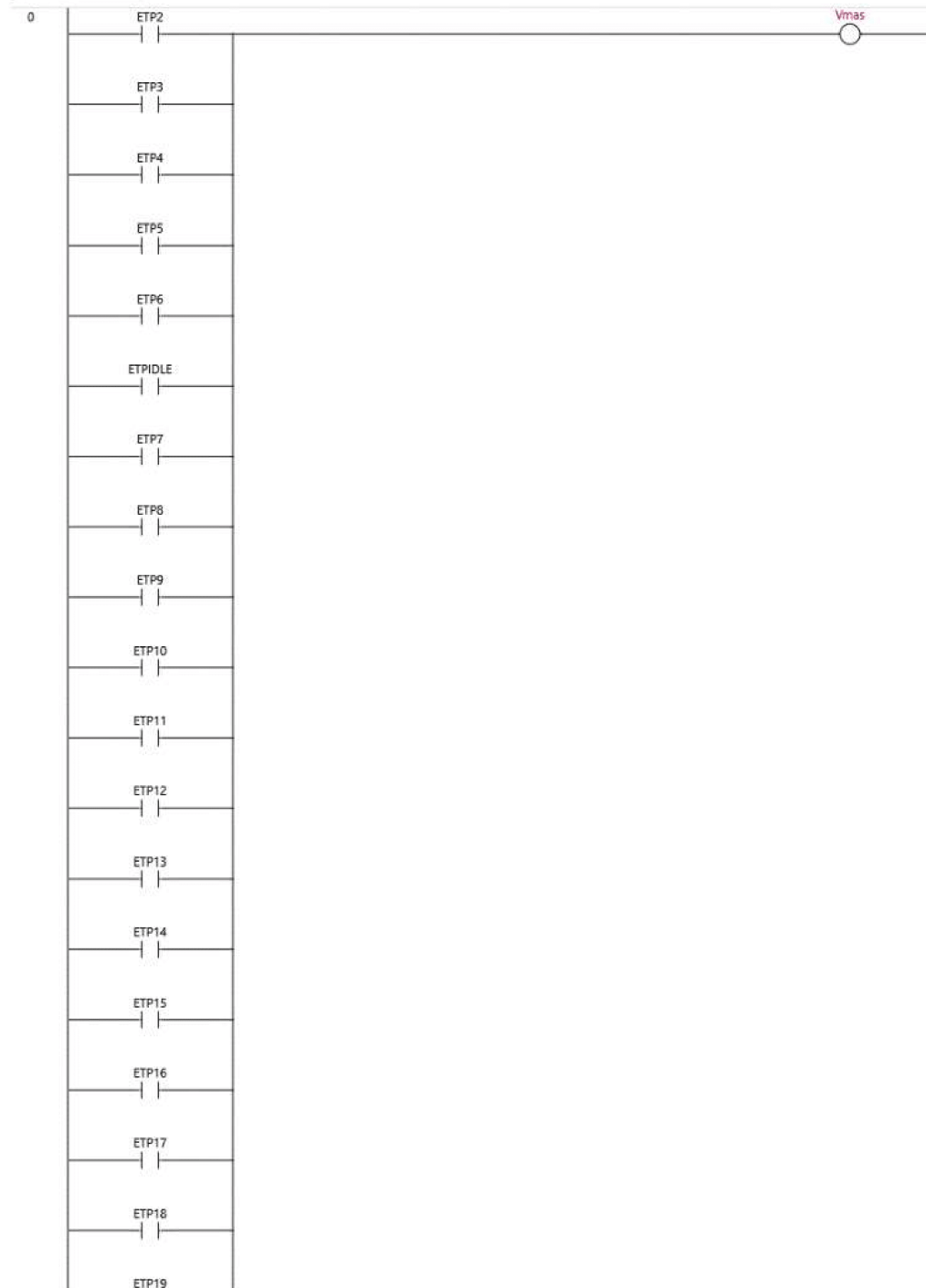


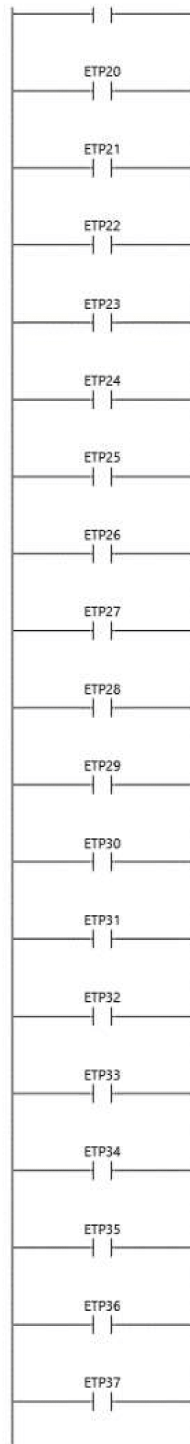


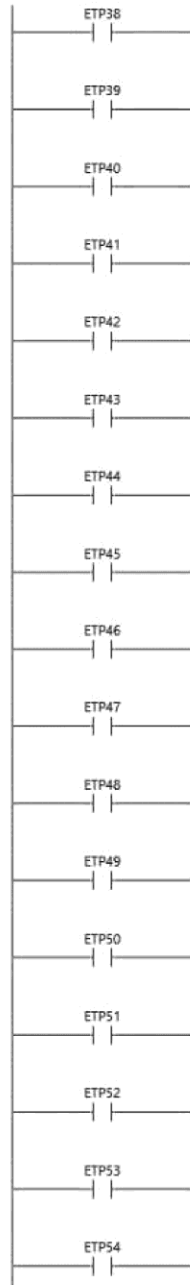


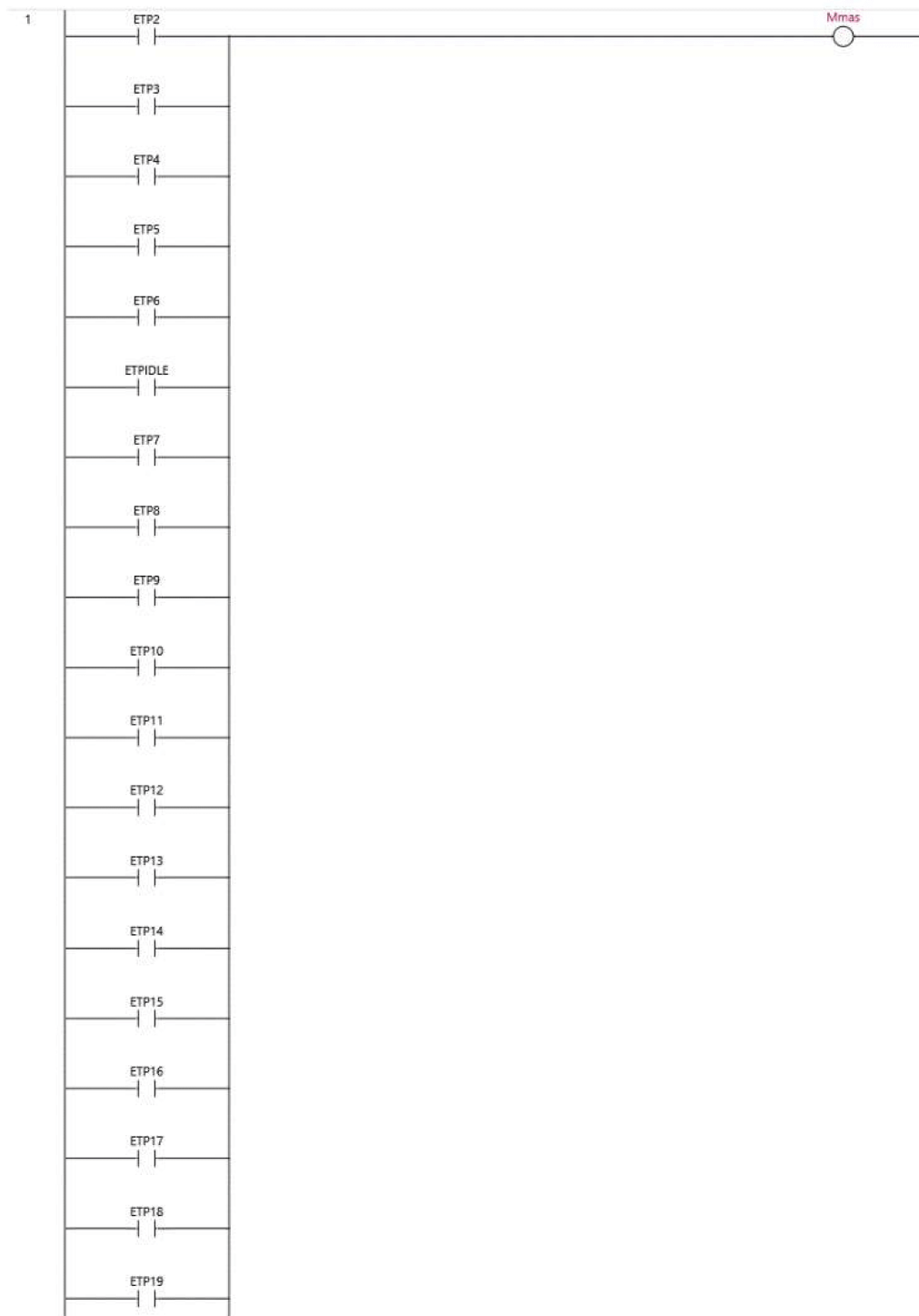


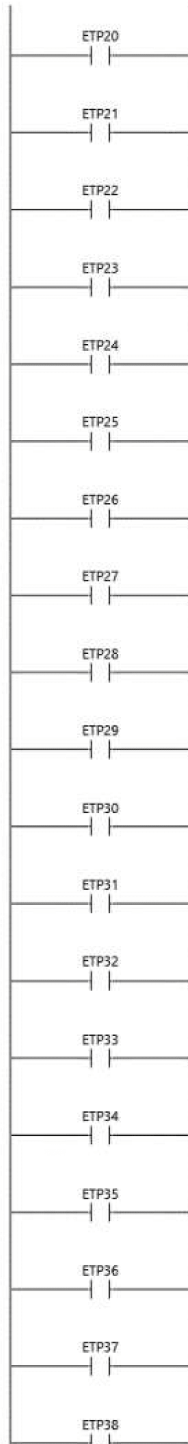
1-9-1-1-3.Salidas

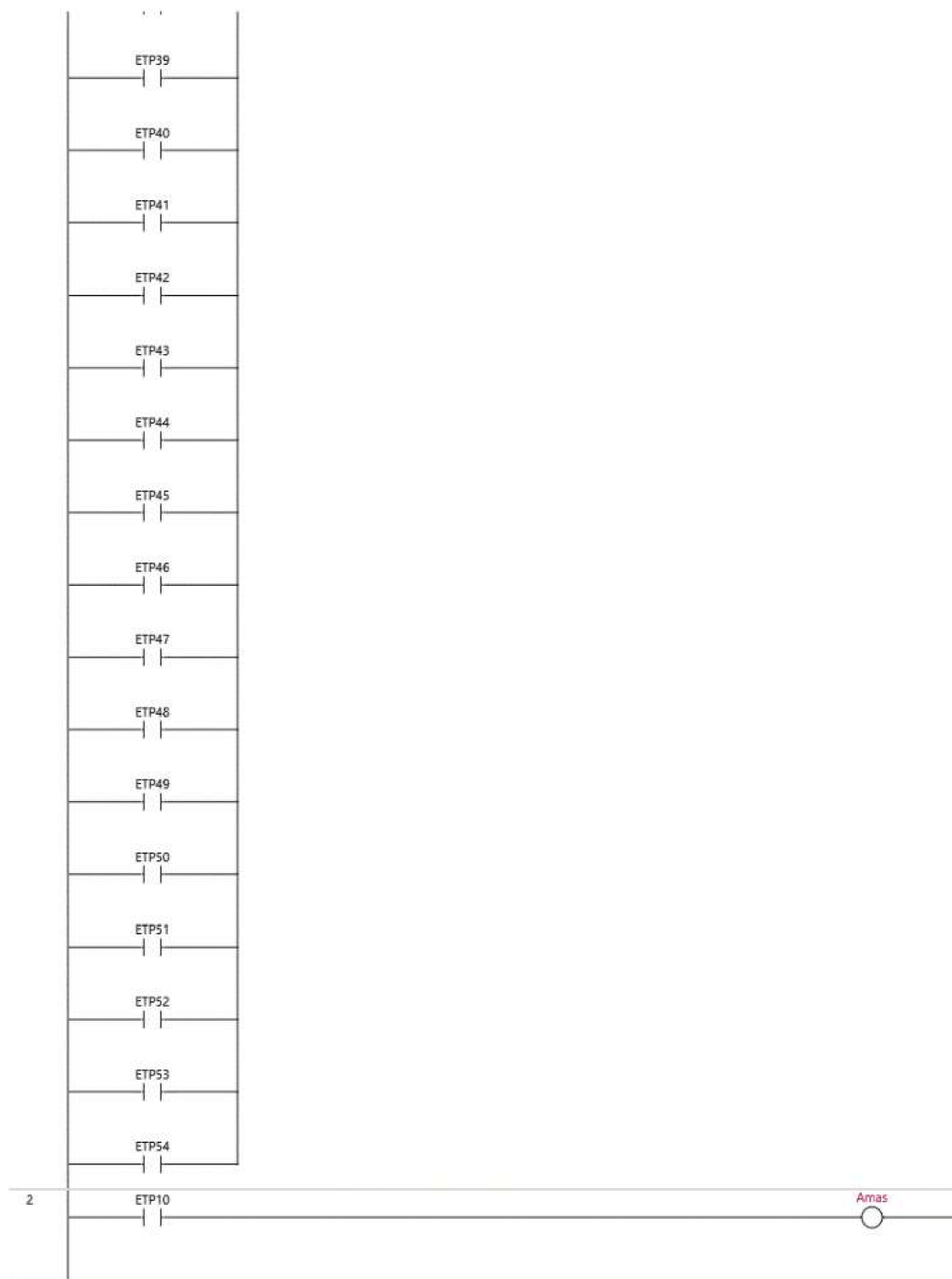


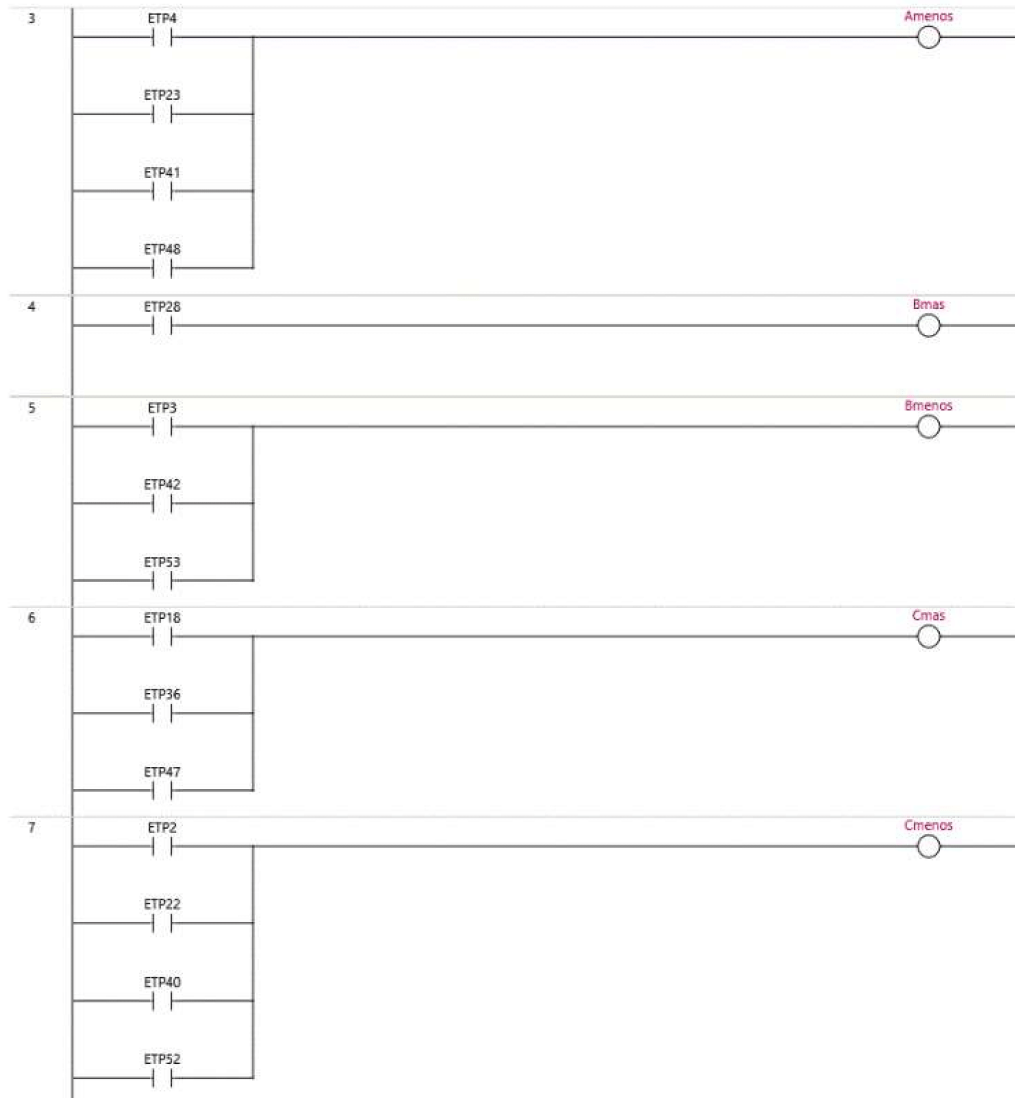


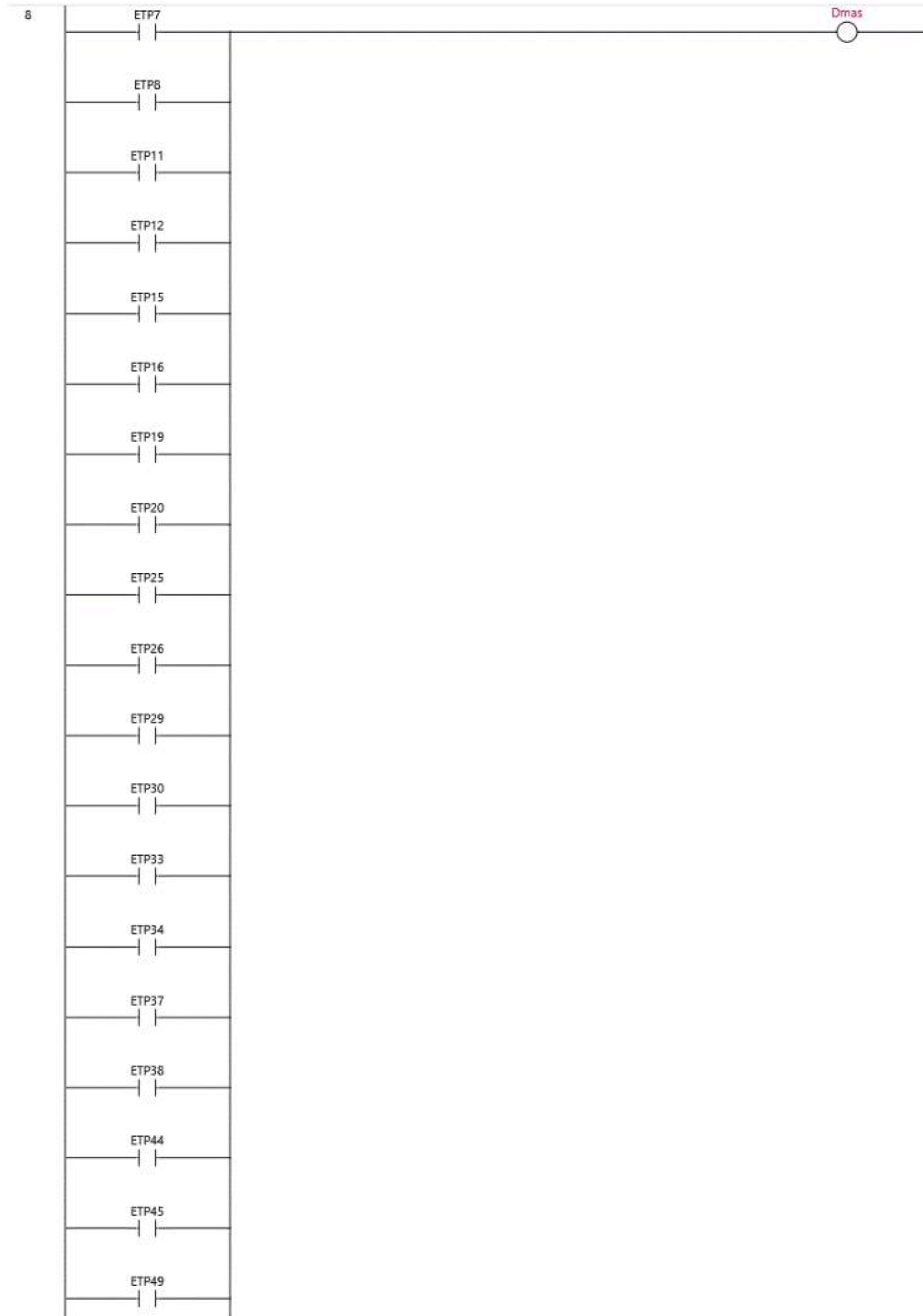


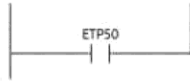


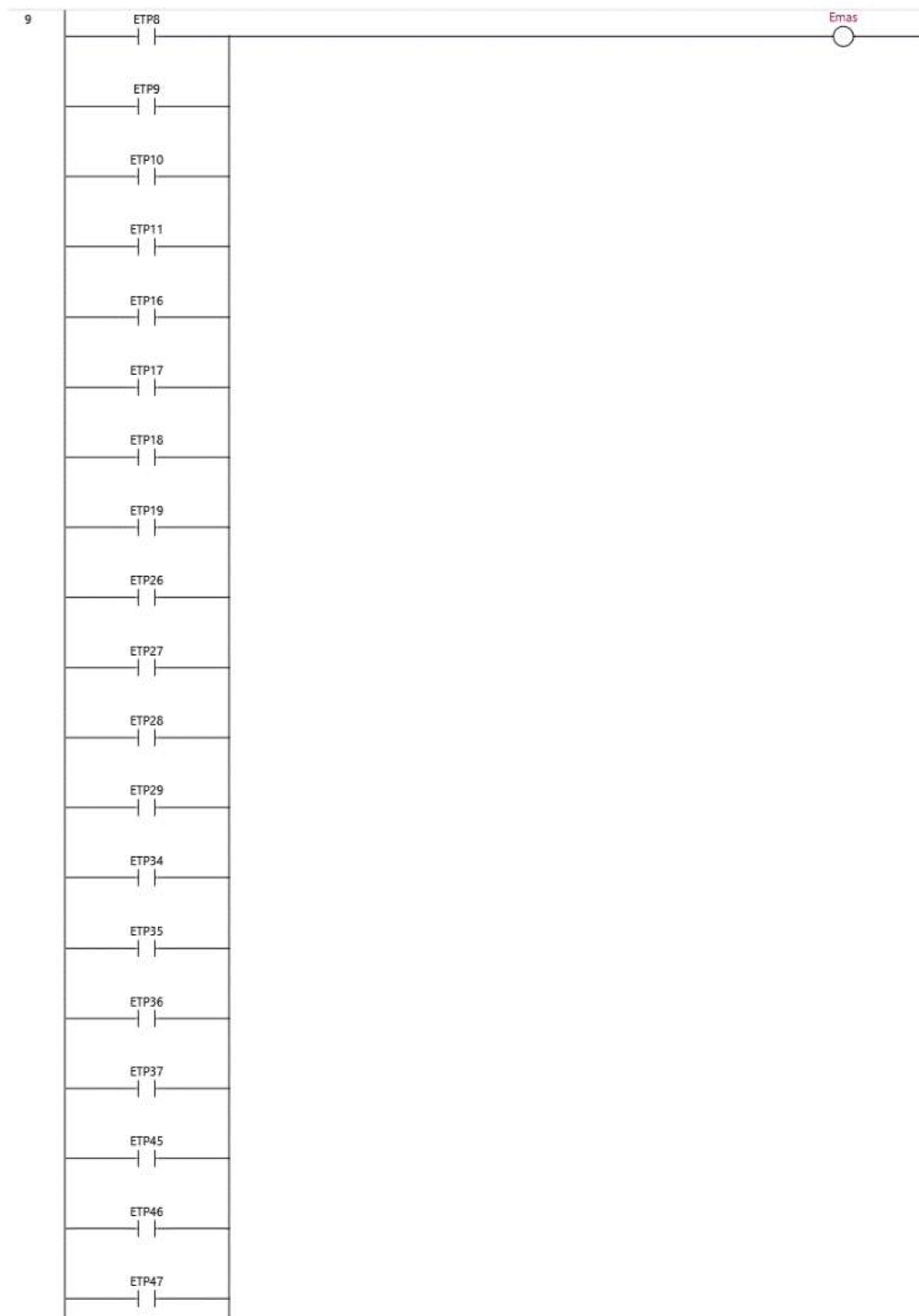






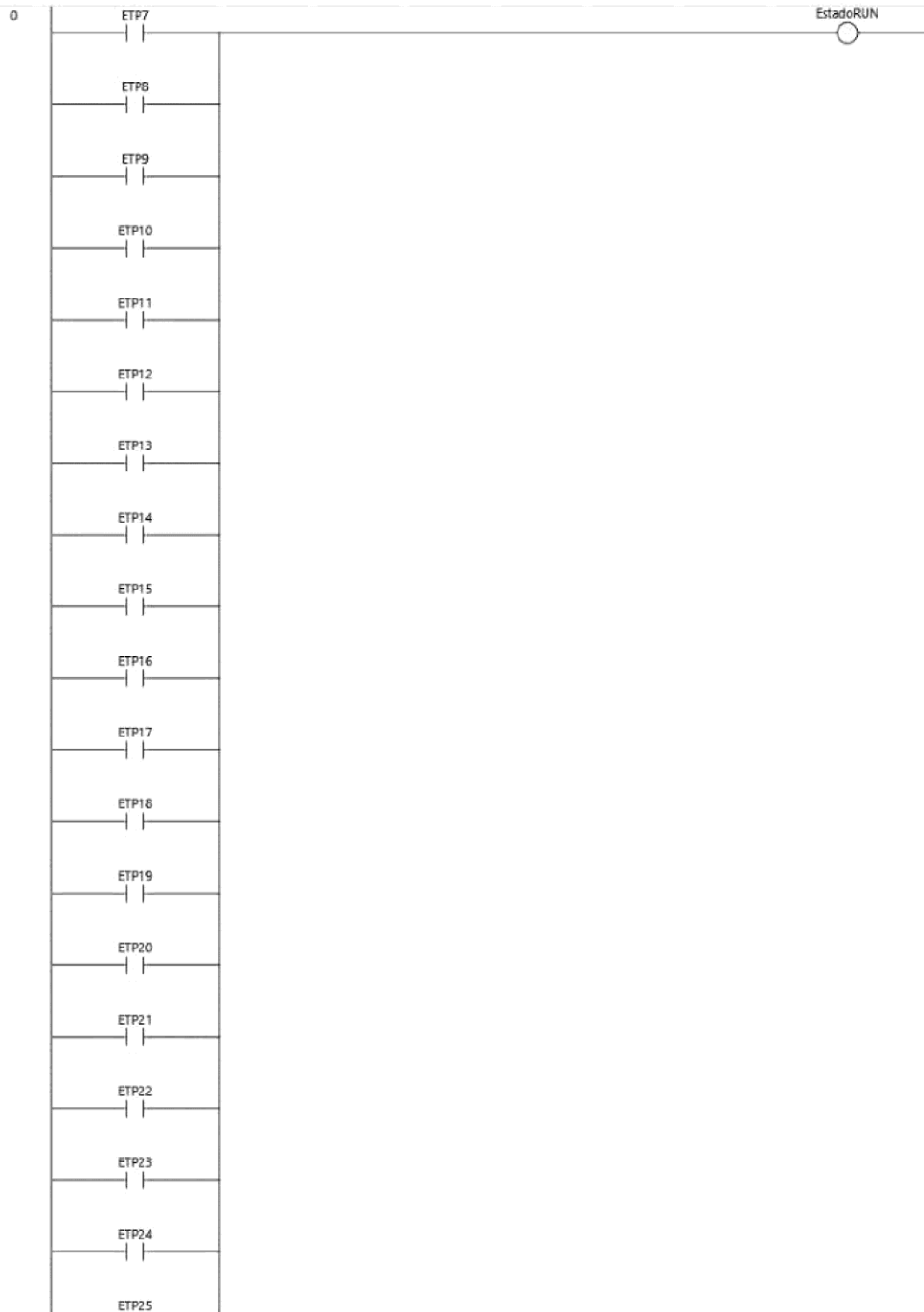


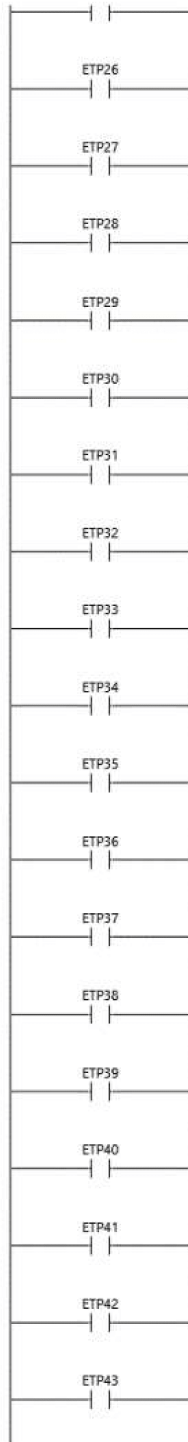


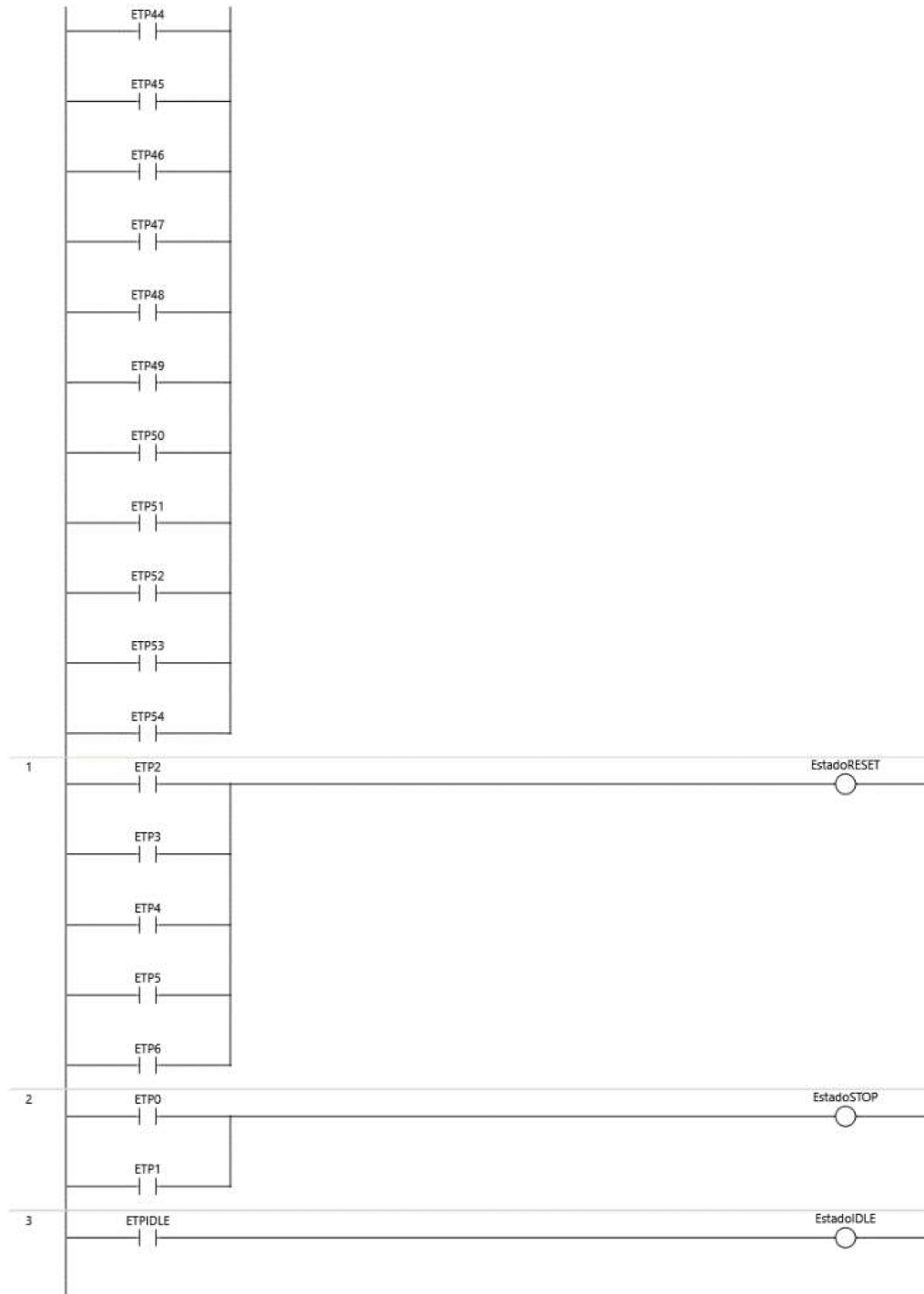


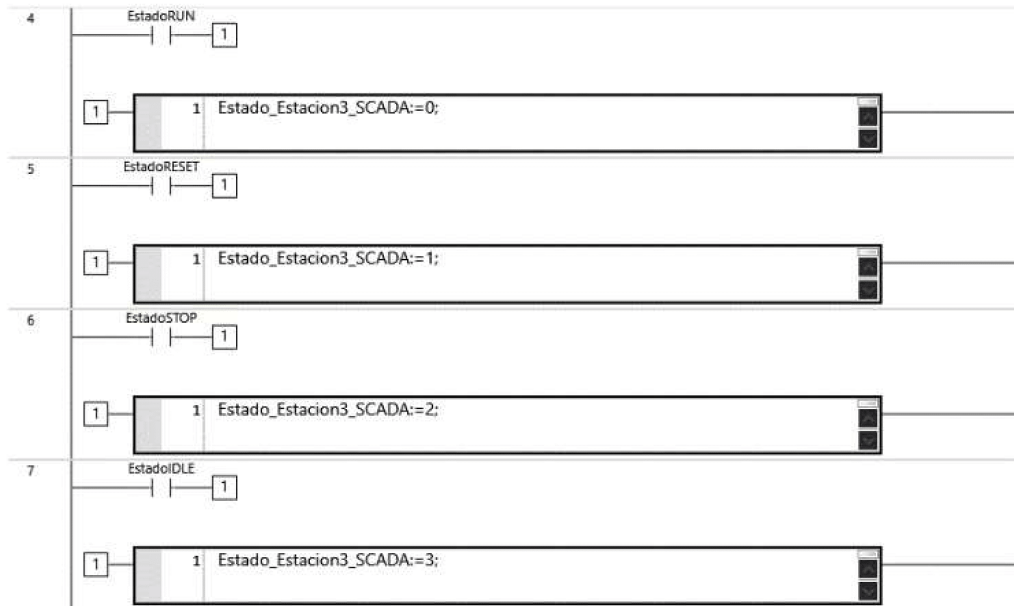


1-9-1-1-4.Estados

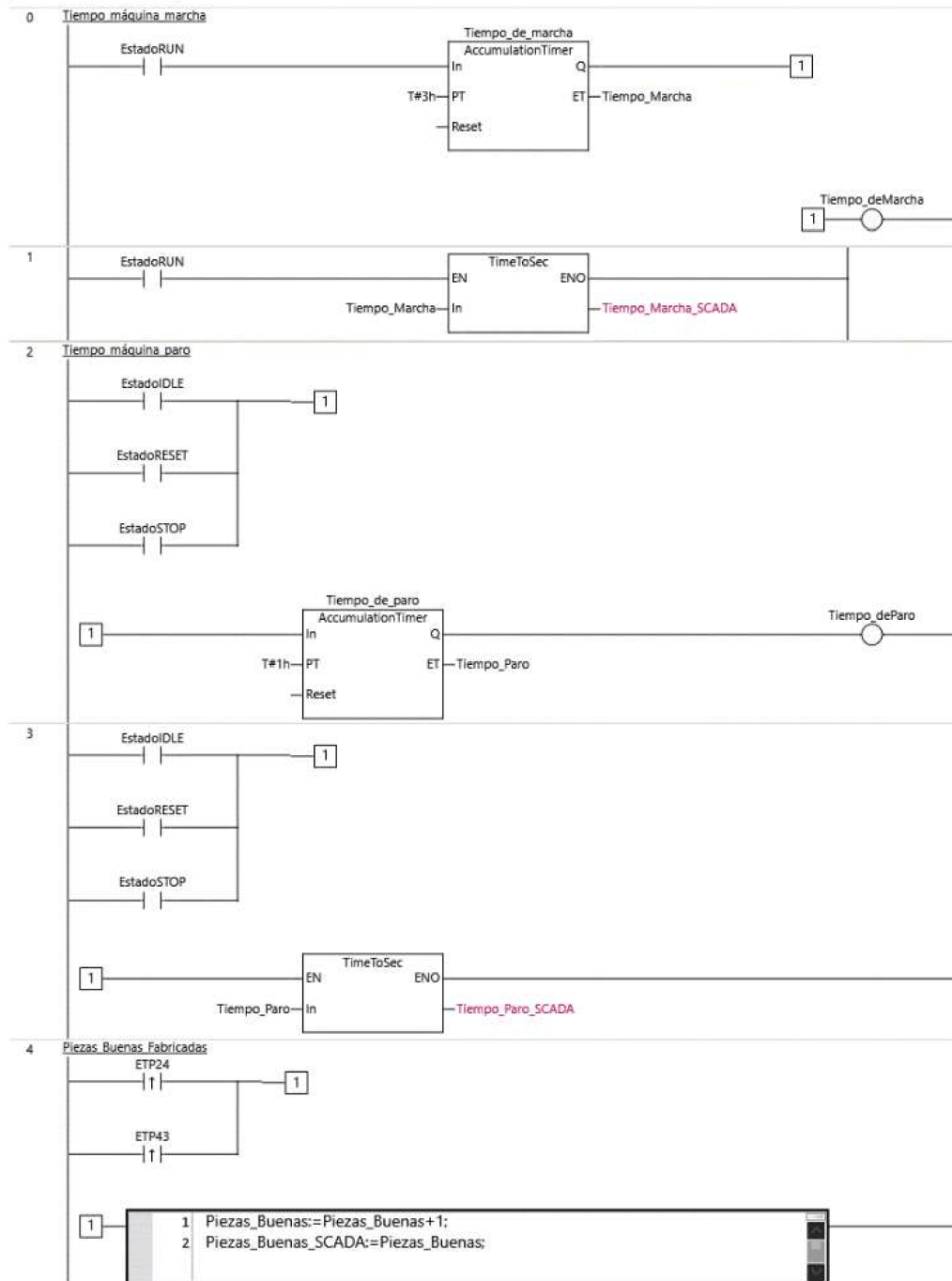








1-9-1-1-5. Contadores





1-9-1-1-6. Conversion



